



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

Trabajo Fin de Grado

CURSO 2018/2019

***DISEÑO INGENIERIL Y MECÁNICO DE
RECUPERADORES DE CALOR EN MOTOR
DIÉSEL PARA PLANTA DE COGENERACIÓN***

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

ALUMNA

Begoña Espiñeira Sicre

TUTOR

Alberto Arce Ceinos

FECHA

DICIEMBRE 2018

Mi más sincero agradecimiento a todos los que me han apoyado en estos cuatro años.

A mi familia, a mis compañeros, a mis amigos, a mis compañeros de piso, Carmen, Adrián y Sonia.

A las personas más importantes de mi día a día, gracias.

Título y Resumen

Diseño Ingenieril y Mecánica de Recuperadores de Calor en Motor Diésel para Planta de Cogeneración

En este Trabajo de Fin de Grado se plantea el diseño de dos intercambiadores de calor para recuperar calor del aceite caliente y del agua de refrigeración de un motor diésel que opera como generador primario en una planta de cogeneración. El proyecto abarca el diseño ingenieril de dos intercambiadores de carcasa y tubos, que consigan una buena recuperación de calor a partir de un área de transferencia adecuada.

El trabajo también tiene como objeto el diseño mecánico de los recuperadores basado en las normas TEMA (Tubular Exchanger Manufacturers Association) con el que se definirán todos los detalles constructivos de los equipos.

Deseño Enxeñaril e Mecánico de Recuperadores de Calor en Motor Diésel para Planta de Coxeración

Neste Traballo de Fin de Grao plantéase o deseño de dous intercambiadores de calor para recuperar calor do aceite quente e da auga de refrixeración dun motor diésel que opera como xerador primario nunha planta de coxeración. O proxecto abarca o deseño enxeñaril de dous intercambiadores de carcasa e tubos, que acaden unha boa recuperación de calor a partires dunha área de transferencia axeitada.

O traballo tamén ten como obxecto o deseño mecánico dos recuperadores baseado nas normas TEMA (Tubular Exchanger Manufacturers Association) co que se definirán tódolos detalles construtivos dos equipos.

Engineering and Mechanical Design of Heat Recuperators in Diesel Engine for Cogeneration Plant

This End of Degree Project sets out the design of the heat exchangers to recover heat from the hot oil and the cooling water of a diesel engine that operates as a primary generator in a cogeneration plant. The project covers the engineering design of two shell and tube exchangers, getting a good heat recovery.

The purpose of the work is also the mechanical design of the recuperators based on the TEMA standards (Association of Tube Exchanges Manufacturers), defining all the construction details of the equipment.

ÍNDICE GENERAL

Documento I: MEMORIA _____

Anejo I: CÁLCULOS DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN DEL ACEITE _____

Anejo II: CÁLCULOS DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL AGUA _____

Anejo III: ESTUDIO BÁSICO DE SEGURIDAD Y SALUD EN LAS OBRAS _____

Documento II: PLANOS _____

Documento III: PLIEGO DE CONDICIONES _____

Documento IV: PRESUPUESTO _____



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO
CURSO 2018/19**

*DISEÑO INGENIERIL Y MECÁNICA DE
RECUPERADORES DE CALOR EN MOTOR
DIÉSEL PARA PLANTA DE COGENERACIÓN*

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

DOCUMENTO I: MEMORIA

Memoria

Begoña Espiñeira Sicre

Índice

1. OBJETO	6
2. ALCANCE	7
3. ANTECEDENTES	8
3.1 Plantas de cogeneración	8
3.2 Intercambiadores de calor	8
3.2.1 Intercambiadores de calor	8
4. NORMAS Y REFERENCIAS	14
4.1 Disposiciones legales y normas aplicadas	14
4.2 Programas de cálculo	14
4.3 Programas de diseño	14
5. REQUISITOS DE DISEÑO	15
6. ANÁLISIS DE SOLUCIONES	16
6.1 Conexión en serie	16
6.2 Intercambiador de calor del sistema de lubricación del aceite	17
6.3 Intercambiador de calor del sistema de refrigeración del agua del motor	19
7. RESULTADOS FINALES	21
7.1 Intercambiador de aceite-agua	21
7.2 Intercambiador agua-agua	23

Índice de figuras

<i>Figura 1: Intercambiador de calor de carcasa y tubos de un paso por carcasa y un paso por tubo.</i>	<i>9</i>
<i>Figura 2: Intercambiador de carcasa y tubos con un paso por carcasa y dos pasos por tubo.</i>	<i>9</i>
<i>Figura 3: Patrones de tubo estándar según las normas TEMA</i>	<i>10</i>
<i>Figura 4: Nomenclatura de los intercambiadores de calor según las normas TEMA</i>	<i>11</i>
<i>Figura 5: Tipos de baffles transversales según la norma TEMA</i>	<i>12</i>
<i>Figura 6. Esquema de la conexión en serie.</i>	<i>16</i>
<i>Figura 7. Modelado 3D intercambiador del aceite-agua.</i>	<i>17</i>
<i>Figura 8. Sección 3D de la carcasa posterior.</i>	<i>18</i>
<i>Figura 9. Sección 3D de la carcasa frontal.</i>	<i>18</i>
<i>Figura 10. Modelado 3D intercambiador agua-agua.</i>	<i>19</i>
<i>Figura 11. Sección carcasa frontal intercambiador agua-agua</i>	<i>20</i>

Índice de tablas

<i>Tabla 1. Requisitos de temperatura de los fluidos de trabajo. Los subíndices c se refieren a caliente y los subíndices f se refieren a frío, los subíndices e y s se refieren a entrada y salida respectivamente.</i>	15
<i>Tabla 2. Especificaciones del intercambiador aceite-agua.</i>	22
<i>Tabla 3. Especificaciones del intercambiador agua-agua.</i>	24

1. OBJETO

El objeto del presente proyecto es el diseño ingenieril y mecánico de un recuperador de calor para un motor diésel de una planta de cogeneración en la que se necesita obtener un flujo másico de 9,43 kg/s de agua de proceso a 60°C. Para ello, se aprovecha el calor cedido en la refrigeración del aceite lubricante caliente y en el enfriamiento del agua de refrigeración de un motor diésel con la ayuda de dos recuperadores de calor.

El recuperador de calor que se diseñará para la refrigeración del aceite tanto el recuperador que se diseñará para aprovechar el calor del agua de refrigeración serán intercambiadores de carcasa y tubos de múltiple paso.

El diseño ingenieril se realizará en base a la diferencia de temperaturas media logarítmica y el diseño mecánico se llevará a cabo siguiendo las normas TEMA.

Para conseguir el flujo másico de agua a 60° C será necesario instalar los dos intercambiadores de calor en serie. El intercambiador aceite-agua será el que esté de primero en la conexión serie, y tendrá un paso por carcasa y seis pasos por tubos. Por el interior de su carcasa y por el interior de sus tubos circularán el aceite y el agua de proceso, respectivamente. El intercambiador agua-agua, será el que esté conectado tras el intercambiador aceite-agua. Por la carcasa de este segundo intercambiador, circulará el fluido caliente, que en este caso será el agua de refrigeración del motor, y, por sus tubos circulará el agua de proceso que se requiere calentar.

De esta forma, el primer intercambiador, calentará el agua de proceso aproximadamente 5 grados y el segundo intercambiador, calentará esta agua aproximadamente 7 grados.

2. ALCANCE

El alcance del proyecto abarca el diseño ingenieril y mecánico de dos intercambiadores de calor de carcasa y tubos de múltiple paso.

El diseño ingenieril está basado en los mecanismos responsables de la transferencia de calor entre ambos fluidos. Está calculado en función de los requerimientos térmicos de potencia necesaria, los rangos de temperatura en los que operan y de la naturaleza de los fluidos utilizados en los recuperadores. Estos datos nos llevarán al cálculo del área de transferencia de calor y de las correspondientes pérdidas de carga en los tubos y en la carcasa.

El alcance de este proyecto también incluye el diseño mecánico de los dos intercambiadores, en el cual se deberán determinar mediante cálculos los espesores y tamaños de los materiales necesarios para construir los recuperadores en base a sus condiciones de operación de presión y temperatura.

Además, este proyecto, también tratará de determinar un presupuesto general aproximado del coste de fabricación de los equipos.

Por lo tanto, el alcance de este proyecto trata de determinar:

- El área de transferencia de calor
- Las pérdidas de carga
 - En la carcasa
 - En los tubos
- El diseño mecánico de:
 - Los cabezales
 - La carcasa
 - Las bridas
 - Los baffles
 - La placa de tubos
 - Las placas de separación
 - Los tubos
 - Las barras de soporte
 - Las juntas
- El presupuesto aproximado

Además, se seleccionarán los tipos de soldaduras que requerirán los distintos elementos de los intercambiadores de calor.

3. ANTECEDENTES

Tal y como ha sido establecido en el objeto y alcance de este proyecto, se realizarán dos intercambiadores de calor de carcasa y tubos para recuperación de calor en una planta de cogeneración.

La cogeneración es la producción combinada de dos o más tipos de energía. Normalmente las energías generadas son mecánica y térmica. La producción combinada supone que esta energía puede ser utilizada simultáneamente, lo que implica la proximidad de la planta generadora a los consumos, en contraposición al sistema convencional de producción de electricidad en centrales termoeléctricas independiente, donde también se desprende calor, pero este no es aprovechado. El objetivo de la cogeneración es que no se pierda una gran cantidad de energía generada. La cogeneración permite que la central tenga un potencial de rendimiento mayor que una central convencional ya que se aprovechan varios tipos de energía. Gracias a que estas centrales tienen mayor rendimiento, se ahorra en combustible, en costes de producción, y estas generan un menor impacto ambiental. Por otra parte, generan menor contaminación ya que la energía es producida donde se consume.

3.1 Plantas de cogeneración

Una planta de cogeneración puede funcionar bien con motores bien con turbinas de gas. En estas plantas un combustible fósil se quema para generar la energía mecánica. Esta energía mecánica se transforma en energía eléctrica mediante un alternador. Pero gran parte de la energía producida en la combustión se pierde en los gases de combustión calientes. Mediante el uso de recuperadores de calor este calor se puede recuperar en forma de energía térmica.

3.2 Intercambiadores de calor

3.2.1 Intercambiadores de calor

Los intercambiadores de calor son equipos a través de los cuales dos fluidos, uno caliente y uno frío, intercambian calor. Los fluidos pueden estar separados por una pared sólida o no.

3.2.1.1 Tipos de intercambiadores

Hay muchas formas de clasificar los intercambiadores, este proyecto se centrará en dos clasificaciones que son las más relevantes y usuales para su correcta comprensión.

La primera clasificación se refiere al flujo relativo entre los fluidos. Según este criterio se distinguen tres tipos básicos:

- Contraflujo (tubos concéntricos)
- Corrientes paralelas (tubos concéntricos)
- Corrientes cruzadas

La segunda clasificación será en base a sus características constructivas. Algunas de las más comunes son las siguientes:

- Intercambiador de carcasa y tubos
- Intercambiador de placas
- Intercambiadores compactos

Como ya se ha mencionado anteriormente, este proyecto se centrará en el primero.

3.2.1.1.1 Intercambiadores de calor de carcasa y tubos

Son los intercambiadores más destacados y utilizados en la industria porque son muy versátiles y de construcción relativamente sencilla. En este tipo de intercambiadores cuyo esquema está representado en la Figura 1, un fluido circula por el interior de los tubos y el otro por la carcasa. Pueden circular fluidos limpios, sucios e incrustantes, dependiendo del intercambiador. Para proporcionar un flujo sinuoso, de forma que se obtenga un coeficiente de transferencia de calor elevado, en la carcasa se instalan “baffles”. Estos baffles tienen además un objetivo estructural, proporcionando un apoyo para los tubos e impidiendo así su flexión. Estos intercambiadores pueden presentar una gran variedad de configuraciones dependiendo de las temperaturas de operación, de la caída de presión, de la transferencia de calor deseada y de otras características mecánicas.

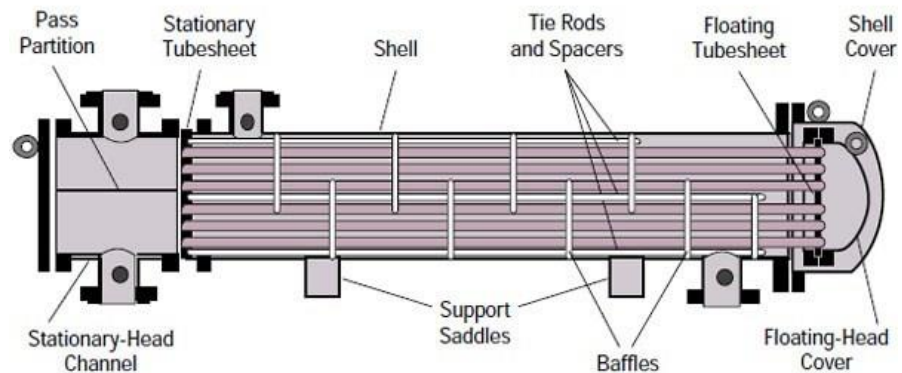


Figura 1: Intercambiador de calor de carcasa y tubos de un paso por carcasa y un paso por tubo.

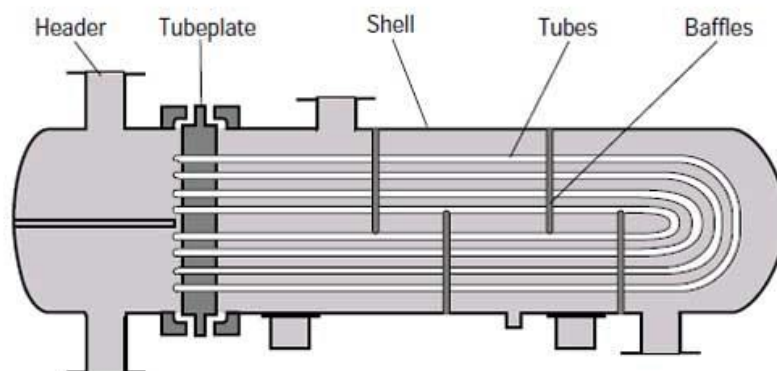


Figura 2: Intercambiador de carcasa y tubos con un paso por carcasa y dos pasos por tubo.

Estos intercambiadores se construyen de acuerdo con las normas TEMA (Tubular Exchanger Manufacturers Association) con algunas modificaciones dependiendo

del país. Estas normas han desarrollado una nomenclatura para nombrar los tipos básicos de intercambiadores de calor de carcasa y tubos.

3.2.1.1.1.1 Partes de un intercambiador de calor de carcasa y tubos

Los intercambiadores de calor de carcasa y tubos tienen los siguientes componentes básicos: el haz de tubos, la carcasa, los cabezales, los bafles y la placa de tubos (Figuras 1 y 2).

3.2.1.1.1.1.1 Haz de Tubos

Los tubos son la parte fundamental del intercambiador, proporcionan la superficie de transferencia de calor entre el fluido que circula por el interior de estos y el que circula por el interior de la carcasa, evitando que estos dos fluidos entren en contacto.

Estos tubos pueden ser aleteados o lisos y suelen estar hechos de cobre o aleaciones de acero. Los tubos aleteados proporcionarían un área de transferencia de calor de dos a cuatro veces mayor que la que proporcionaría el tubo liso, por ello se suelen usar en los casos en los que el fluido que circula por la carcasa es un gas.

Según los requerimientos del intercambiador de carcasa y tubos y cuando la longitud de tubo es muy larga, este podrá disponer de varios pasos por tubo. Se define paso por tubo al número de veces que el fluido que circula por el interior de los tubos recorre la longitud de la carcasa. Así, un mayor número de pasos por tubo permite disminuir la longitud del intercambiador. Los diseños estándares tienen uno, dos o cuatro pasos por tubo.

La determinación del espacio entre tubos se elige de forma que se mantenga un equilibrio entre una distancia corta para incrementar el coeficiente de transferencia de calor, y la distancia mínima requerida para la limpieza del banco de tubos.

Según las normas TEMA la distancia entre los centros de cada tubo debe ser de un mínimo de 1.25 veces el diámetro exterior del tubo. Este valor suele variar de 1.25 a 2 veces el diámetro exterior del tubo.

Las normas TEMA también establecen diferentes patrones estandarizados para el haz de tubos (Figura 3).

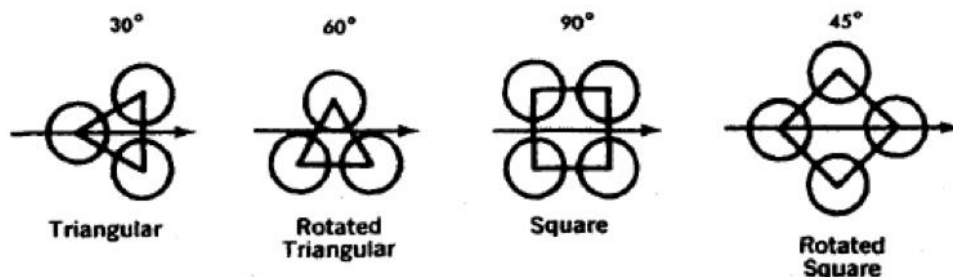


Figura 3: Patrones de tubo estándar según las normas TEMA

3.2.1.1.1.1.2 Carcasa

La carcasa es la envolvente del haz de tubos. Generalmente es de sección circular. Las normas TEMA recogen estándares fijados para el espesor de la carcasa por los fabricantes de intercambiadores de calor tubulares.

3.2.1.1.1.3 Cabezales

Los cabezales son las piezas situadas en los extremos del intercambiador. Según las normas TEMA, los cabezales frontales pueden ser del tipo A, B, C, N o D, y los posteriores pueden ser del tipo L, M, N, P, S, T, U o W. Podemos observar los diferentes tipos en la Figura 4.

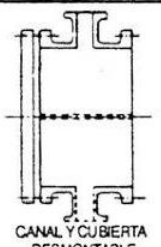
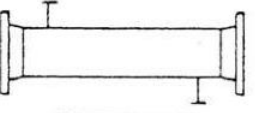
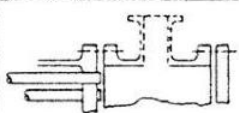
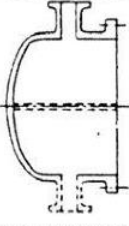
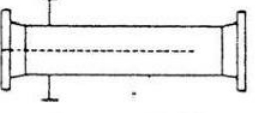
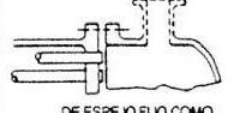

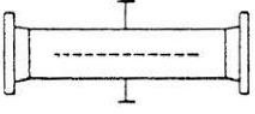
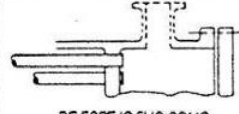
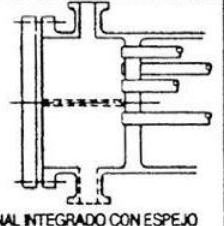
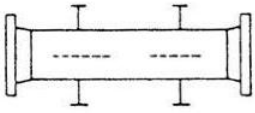
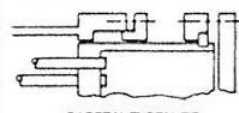
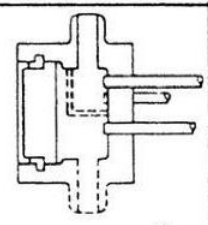
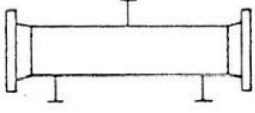

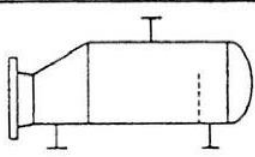
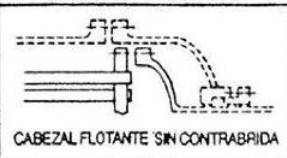
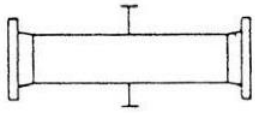
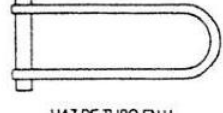
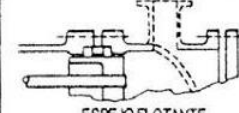
TIPOS DE CABEZAL ESTACIONARIO, EXTREMO FRONTAL		TIPOS DE CORAZAS		TIPOS DE CABEZALES, EXTREMO POSTERIOR	
A	 CANAL Y CUBIERTA DESMONTABLE	E	 CORAZA DE UN PASO	L	 DE ESPEJO FUO COMO EL CABEZAL ESTACIONARIO "A"
B	 CASQUETE (CUBIERTA INTEGRADA)	F	 CORAZA DE DOS PASOS CON DEFLECTOR LONGITUDINAL	M	 DE ESPEJO FUO COMO EL CABEZAL ESTACIONARIO "B"
C	 SOLÓ HAZ DE TUBOS DESMONTABLE CANAL INTEGRADO CON ESPEJO Y CUBIERTA DESMONTABLE	G	 DE FLUJO PARTIDO	N	 DE ESPEJO FUO COMO EL CABEZAL ESTACIONARIO "N"
N	 CANAL INTEGRADO CON ESPEJO Y CUBIERTA DESMONTABLE	H	 DE FLUJO PARTIDO DOBLE	P	 CABEZAL FLOTANTE CON EMPAQUE EXTERIOR
D	 CIERRE ESPECIAL A ALTA PRESIÓN	J	 DE FLUJO DIVIDIDO	S	 CABEZAL FLOTANTE CON DISPOSITIVO DE APOYO
		K	 REHERVADOR DE CALDERA	T	 CABEZAL FLOTANTE SIN CONTRABRIDA
		X	 FLUJO CRUZADO	U	 HAZ DE TUBO EN U
				W	 ESPEJO FLOTANTE SELLADO EXTERNAMENTE

Figura 4: Nomenclatura de los intercambiadores de calor según las normas TEMA

3.2.1.1.1.4 Baffles

Los baffles son placas cuya finalidad es controlar la dirección del fluido que circula por la carcasa.

Existen dos tipos de baffles, longitudinales y transversales.

Los baffles longitudinales se extienden a lo largo de la carcasa y su finalidad suele ser la de separar los distintos pasos por tubos.

Los baffles o deflectores transversales se extienden por la carcasa, perpendicularmente a ella. Tienen las funciones de mantener los tubos en la posición adecuada durante el funcionamiento y de evitar la vibración producida por los vórtices inducidos por el flujo. Además, son los que guían el flujo que circula por la carcasa y hacen que este lo haga con mayor turbulencia para que aumente el coeficiente de convección exterior de los tubos, aumentando así la cantidad de calor transferido.

En la Figura 5 podemos ver los diferentes tipos de baffles transversales aconsejadas por las normas TEMA.

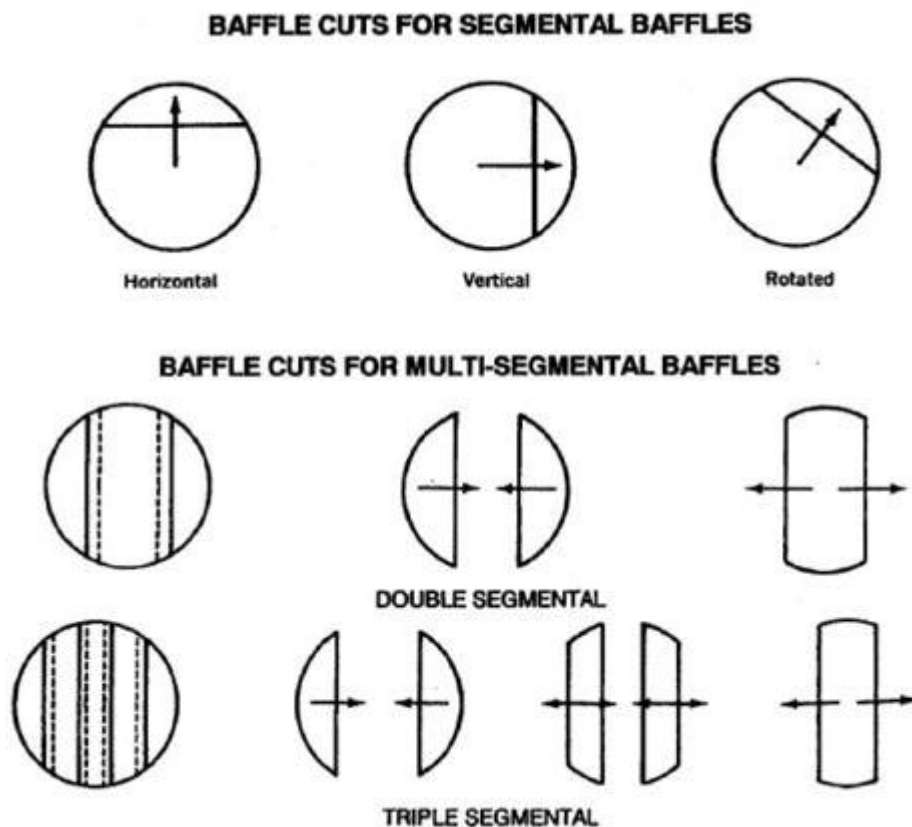


Figura 5: Tipos de baffles transversales según la norma TEMA

3.2.1.1.1.5 Placa de tubos

La placa de tubos se encarga de sostener los tubos y las barras de soporte del intercambiador de calor.

3.2.1.1.1.6 Bidas

Las bridas son los elementos de unión y conexión de los elementos del intercambiador.

Hay tres tipos de bridas:

- Bidas de conexión
- Bidas de unión
- Bidas ciegas

Las bridas de conexión sirven para unir el intercambiador con la fuente de fluido que entrará en el mismo.

Las bridas de unión son las que sirven para unir la carcasa con el cabezal y el cabezal con su tapa.

Las bridas ciegas son las que servirán como tapa de los cabezales, se unen con las bridas de unión de los extremos del intercambiador.

4. NORMAS Y REFERENCIAS

4.1 Disposiciones legales y normas aplicadas

- Normas ASME.
- Sección VIII División 1
- Sección II Parte D
- ASME B36.19M
- ASME B16.47
- ASME B16.5
- ASME B.31
- Normas TEMA

4.2 Programas de cálculo

Para realizar los cálculos descritos en los distintos Anejos de Cálculos se han utilizado los siguientes programas:

- Engineering Equation Solver (EES).
- Microsoft Excel

4.3 Programas de diseño

Para hacer los planos presentes en el Documento de Plano se ha usado el

- Software SolidWorks
- Software AutoCAD

5. REQUISITOS DE DISEÑO

Los intercambiadores de calor diseñados operarán con un caudal másico de agua de proceso de 9,43 kg/s en una planta de cogeneración, que se trata de un sistema externo al proyecto y, por lo tanto, fijará los rangos de temperatura de trabajo y los fluidos de trabajo, podemos ver estos valores en la siguiente tabla:

Tabla 1. Requisitos de temperatura de los fluidos de trabajo. Los subíndices c se refieren a caliente y los subíndices f se refieren a frío, los subíndices e y s se refieren a entrada y salida respectivamente.

Fluido	$T_{c,e}$ (°C)	$T_{c,s}$ (°C)	$T_{f,e}$ (°C)	$T_{f,s}$ (°C)
Aceite	78	66		
Agua de proceso			48	60
Agua de refrigeración	91	83		

Por otra parte, el motor necesita enfriar un flujo de 8,092 kg/s de aceite de motor de 78°C a 66°C y también, un flujo de 8,062 kg/s de agua de refrigeración de 91°C a 83°C.

6. ANÁLISIS DE SOLUCIONES

En este apartado se procede a nombrar las distintas alternativas estudiadas para la realización del proyecto. También se justificará la elección de las soluciones tomadas.

6.1 Conexión en serie

Atendiendo a los requisitos de temperaturas y flujo, se plantea un sistema de recuperación de calor de dos intercambiadores de calor de carcasa y tubos conectados en serie, ver Figura 6.

La primera etapa se forma por un intercambiador de carcasa y tubos de un paso por carcasa y 6 pasos por tubo. Los fluidos de trabajo son:

- Fluido caliente: aceite de motor a 78°C
- Fluido frío: agua de proceso a 48°C

La segunda etapa se forma por un intercambiador de carcasa y tubos de un paso por carcasa y dos pasos por tubo. Los fluidos de trabajo son:

- Fluido caliente: agua de refrigeración a 91°C
- Fluido frío: agua de proceso a 53,165°C

Con esta conexión conseguimos cumplir los requisitos de diseño del presente proyecto.

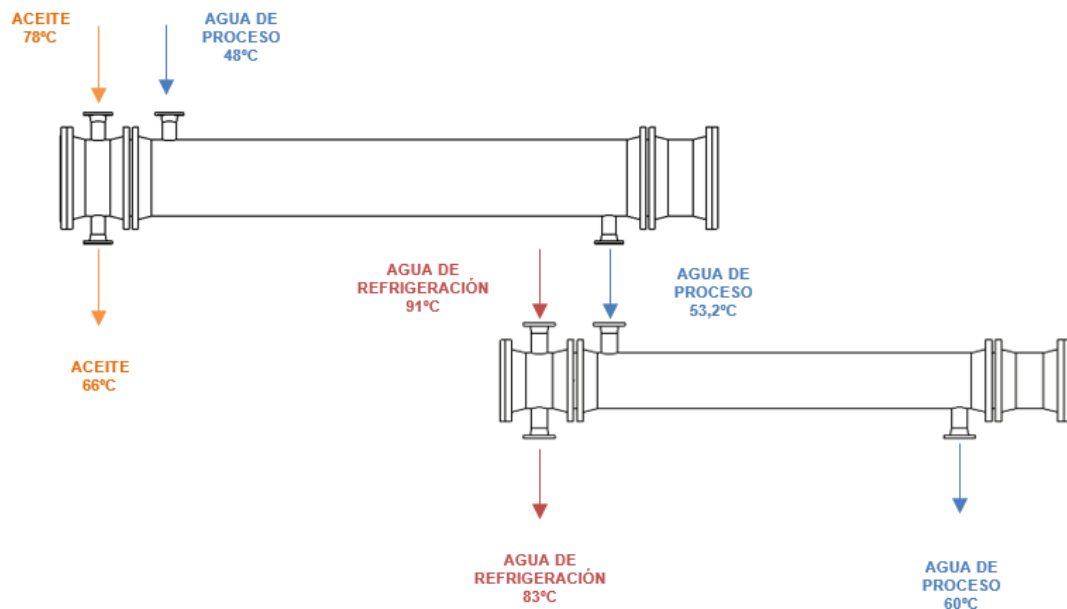


Figura 6. Esquema de la conexión en serie.

6.2 Intercambiador de calor del sistema de lubricación del aceite

Se trata de un intercambiador de calor de carcasa y tubos (ver Figura 7), con seis pasos por tubo y un paso por carcasa (ver Figuras 8 y 9). Por la carcasa circula aceite de motor y por los tubos circulará agua de proceso que aprovecha el calor del aceite que pasa por la carcasa, y a su vez, lo enfría.

Con este intercambiador se consigue calentar aproximadamente 5 grados centígrados el agua de proceso y enfriar 12 grados centígrados el aceite de motor, para que pueda volver a utilizarse para realizar la combustión en el mismo.

En un principio se planteó utilizar un paso por tubo y un paso por carcasa, pero los resultados de la longitud del intercambiador no eran admisibles. Por todo esto, se decidió realizar el diseño con seis pasos por tubo, disminuyendo considerablemente la longitud del intercambiador.

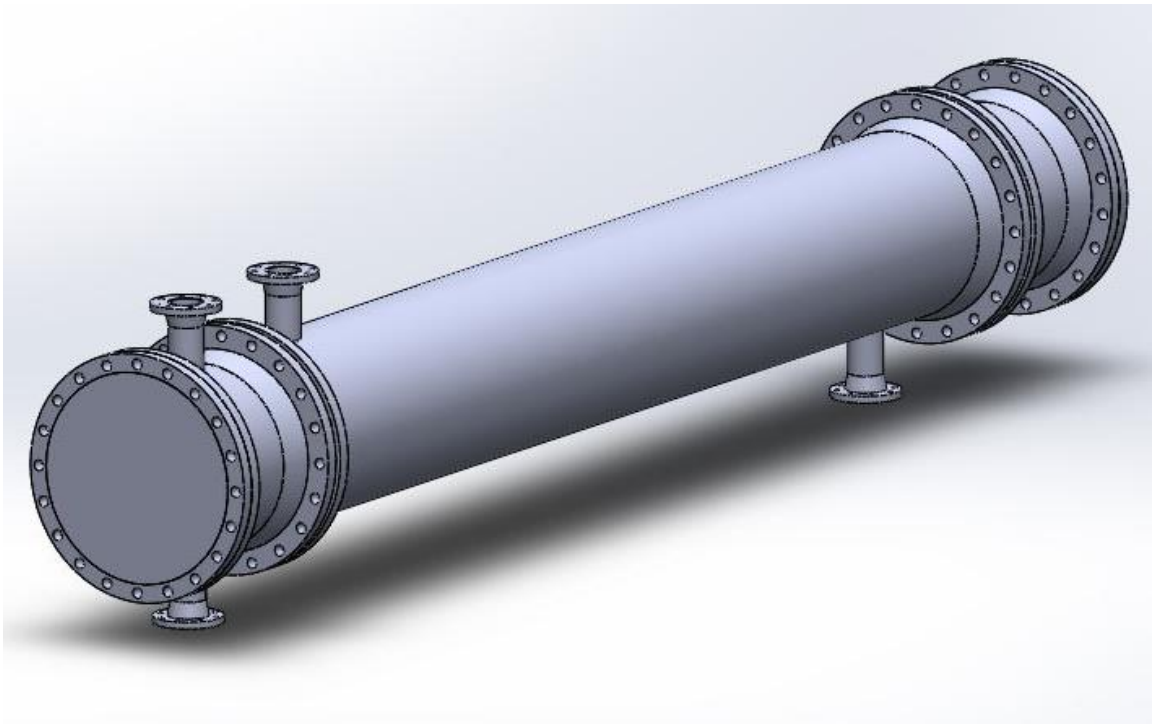


Figura 7. Modelado 3D intercambiador del aceite-agua.

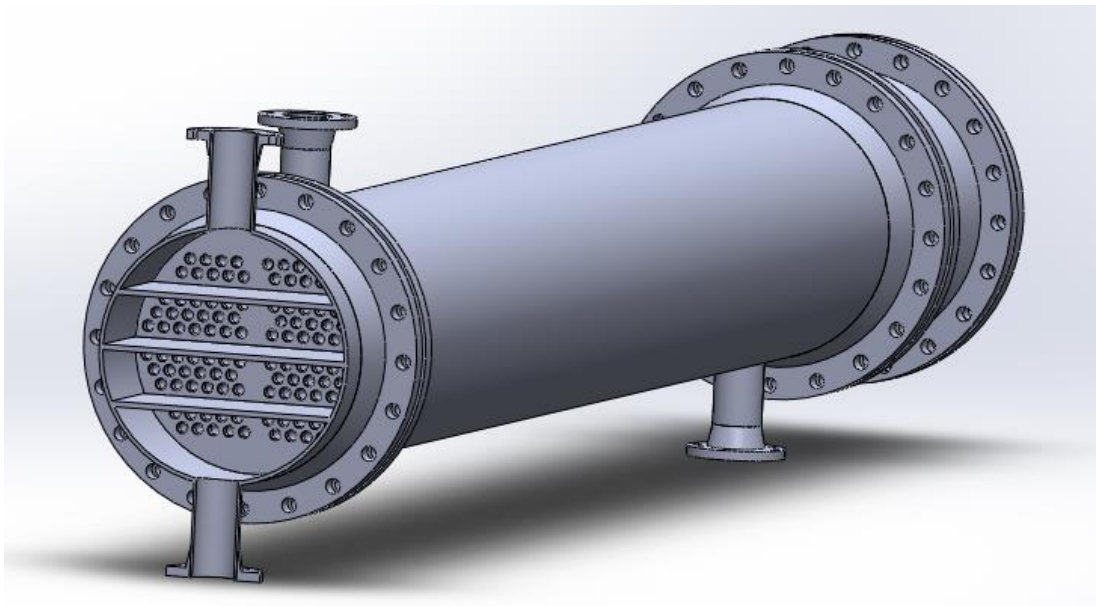


Figura 9. Sección 3D de la carcasa frontal.

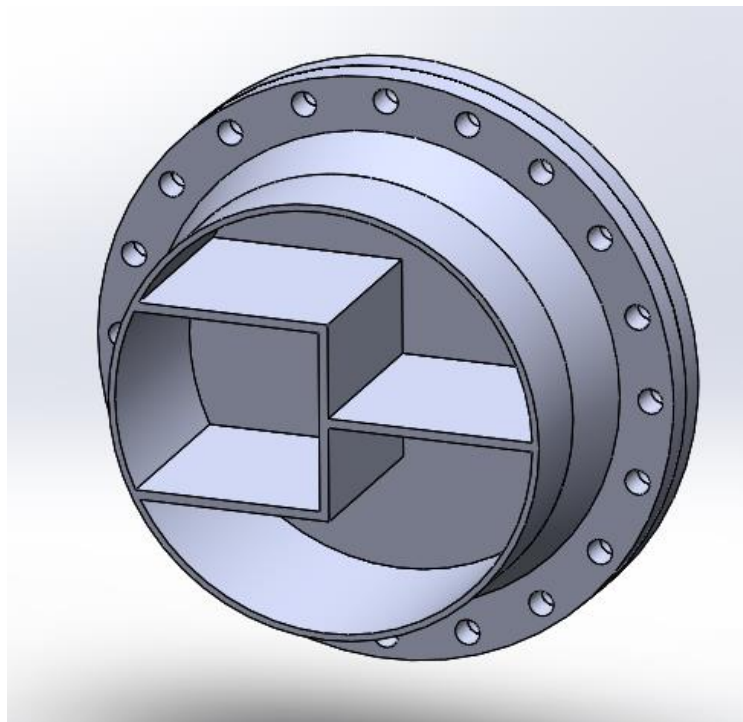


Figura 8. Sección 3D de la carcasa posterior.

6.3 Intercambiador de calor del sistema de refrigeración del agua del motor

Se trata de un intercambiador de calor de carcasa y tubos (ver Figura 10), con dos pasos por tubo y un paso por carcasa (ver Figura 11). Por la carcasa circulará agua de refrigeración del motor, y por los tubos, circula agua de proceso que aprovecha el calor del agua de refrigeración del motor que pasa por la carcasa, y a su vez, la enfría.

Con este intercambiador conseguimos calentar aproximadamente 8 grados centígrados el agua de proceso y enfriar 7 grados centígrados el agua de refrigeración del motor, para que pueda volver a utilizarse en el mismo.

En un principio se planteó utilizar un paso por tubo y un paso por carcasa, pero los resultados de la longitud del intercambiador no eran admisibles. Por todo esto, se decidió realizar el diseño con dos pasos por tubo, disminuyendo considerablemente la longitud del intercambiador.

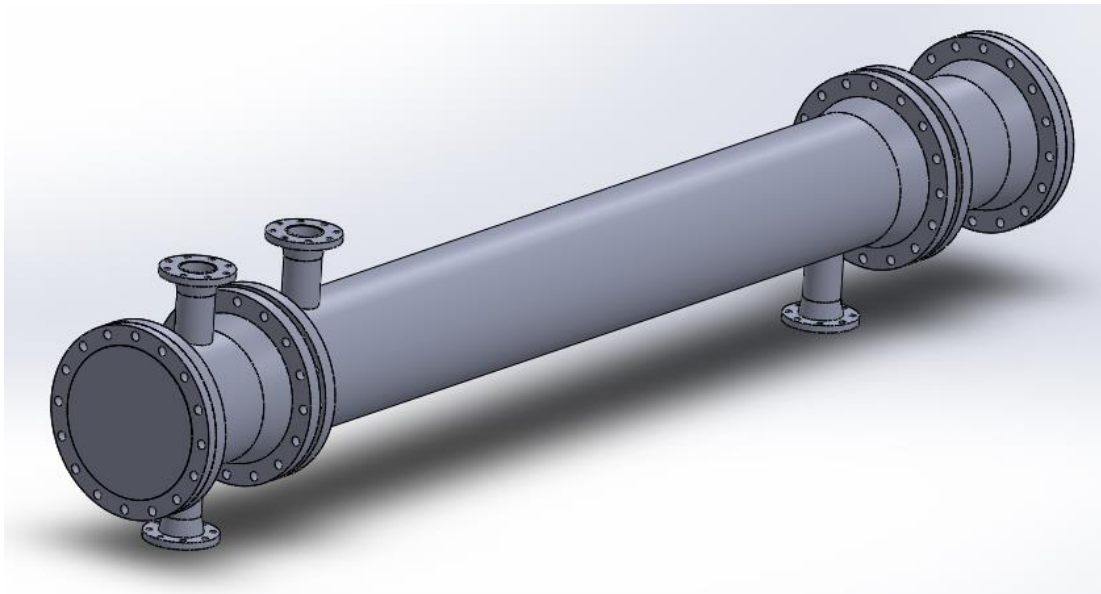


Figura 10. Modelado 3D intercambiador agua-agua.

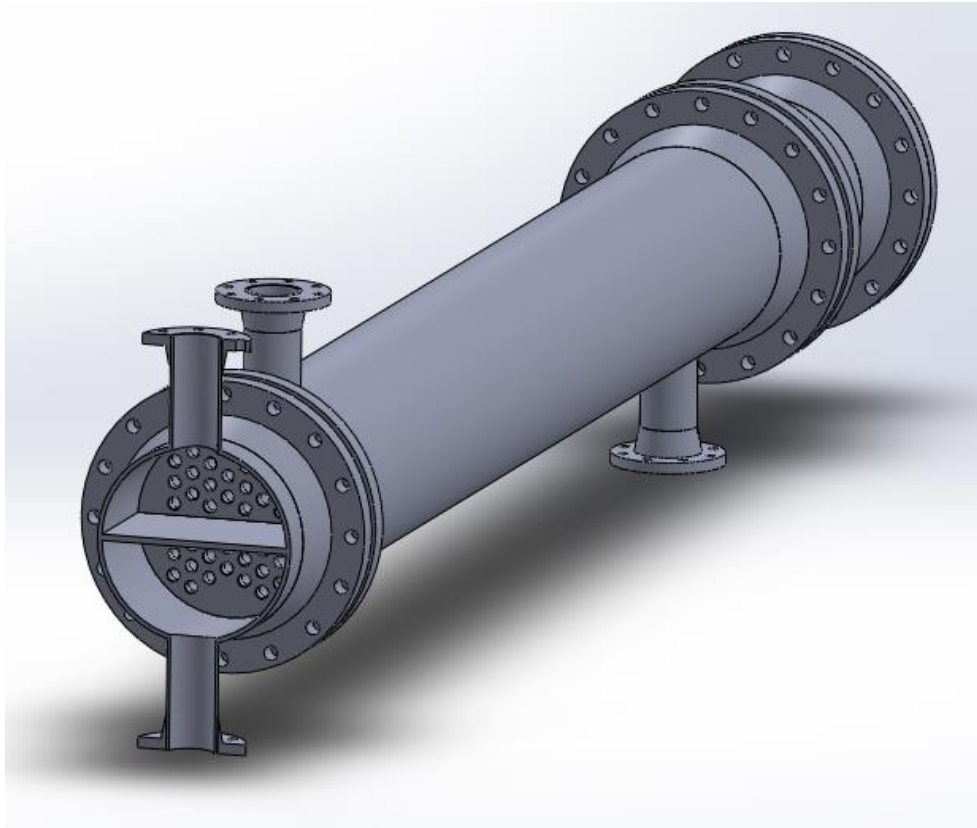


Figura 11. Sección carcasa frontal intercambiador agua-agua

7. RESULTADOS FINALES

7.1 Intercambiador de aceite-agua

El intercambiador de calor de carcasa y tubos es de seis pasos por tubos y uno por carcasa. Por cada paso por tubo circulan 9,43 kg/s de agua de proceso que se precalienta antes de su llegada al segundo intercambiador de calor conexionado en serie. Por la carcasa circulan 8,091 kg/s de aceite de motor que se enfría hasta llegar a la temperatura requerida por el motor en el que opera.

La carcasa es de acero inoxidable 316. Esta, tiene un diámetro interior de 590,6 mm y un espesor de 9,5 mm.

Los tubos son de acero inoxidable 316, tienen una longitud total de 24,63 metros y de 4,10 metros por paso. Su diámetro exterior es de 26,9 mm y su espesor es de 1,6 mm. Hay un total de 114 tubos.

Las barras de soporte tienen un diámetro de 17,2 mm y miden 4,112 m de longitud. Hay 6 barras de soporte distribuidas uniformemente por el haz de tubos.

La placa portatubos tienen un diámetro de 609,6 mm y un espesor de 25,4 mm. Cuenta con 114 orificios en donde se alojarán los tubos del intercambiador, y 6 taladros en los que se colocarán las barras de soporte. El material de la placa de tubos es acero inoxidable 316.

El cabezal frontal y el posterior son de acero inoxidable 316, tienen un espesor de 9,5 mm y un diámetro interno de 590,6 mm. La longitud de los cabezales es de 500 mm.

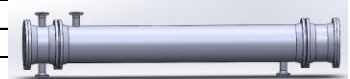
Los cabezales y la carcasa van unidos por medio de bridas tipo Welding Neck de 24" (DN600 mm) de acero inoxidable 316.

Las conexiones del cabezal frontal y de la carcasa van unidas por medio de bridas tipo Welding Neck de 4" (DN100 mm) de acero inoxidable 316.

Las especificaciones de dicho intercambiador se recogen en una hoja de especificación cuyo formato está establecido por las normas TEMA. Esta hoja de especificación se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2. Especificaciones del intercambiador aceite-agua.

Customer					Escola Politécnica Superior de Ferrol					Job No.				
Address					Campus de Esteiro, Rúa Mendizábal s/n – 15403 Ferrol					Reference No.				
Service of Unit					Heat Exchanger					Proposal No.				
Size					5247 mm					Item No.				
Type					AEA Horizontal					Connected in				
Surf/Unit (Gross/Eff.)					34.84 / 34.84 m2					Surf/Unit (Gross/Eff.) 34.84 / 34.84 m2				
PERFORMANCE OF ONE UNIT										Series				
Fluid Allocation					Shell Side					Tube Side				
Fluid Name					Engine Oil					Water				
Fluid Quantity Total					kg/s					8,092				
Vapor (In/Out)										9,43				
Liquid					8,092					8,092				
Steam										9,43				
Water										9,43				
Noncondensable														
Temperature °C					78					66				
Specific Gravity					0,87					1				
Viscosity, Liquid kg/m-s					4,41E-02					4,41E-02				
Molecular Weight, Vapor										5,38E-04				
Molecular Weight, Noncondensable										5,38E-04				
Specific Heat kJ/kg-K					2,098					2,098				
Thermal Conductivity W/m-K					0,1396					0,1396				
Latent Heat										4,181				
Inlet Pressure kPa					450					4,181				
Velocity m/s					0,47					0,57				
Pressure Drop, Allow. /Calc. kPa					100					49,07				
Fouling Resistance (Min.)					0,00004					50				
Heat Exchanged					213,91					21,23				
Transfer Rate, Service					Clean					BTU / hr sq ft °F				
CONSTRUCTION OF ONE SHELL										Sketch (Bundle/Nozzle Orientation)				
					Shell Side					Tube Side				
Design / Test Pressure kPa					450					450				
Design Temp. Max/Min °C					100					100				
No. Passes per Shell					1					6				
Corrosion Allowance mm					1					1				
Connections					In mm					102,3				
Size & Rating					Out mm					102,3				
					Intermediate					102,3				
Tube No. 114					OD 26.9 mm					Thk 1.6 mm				
Tube Type Plain					Material					Stainless Steel 316				
Shell 590.6 / 609.6					ID / OD mm					Shell Cover Stainless Steel 316				
Channel or Bonnet Stainless Steel 316					Channel Cover					Stainless Steel 316				
Tubesheet-Stationary Stainless Steel 316					Tubesheet-Floating					Stainless Steel 316				
Floating Head Cover Stainless Steel 316					Impingement Protection					None				
Baffles-Cross 26					Type Segmental					%Cut 25				
Baffles-Long None					Seal Type					Spacing: 118 mm				
Supports-Tube 6					U-Bend					Type None				
Bypass Seal Arrangement					Tube-to-Tubesheet Joint									
Expansion Joint					Type									
Gaskets-Shell Side					Tube Side									
Floating Head														
Code Requirements										TEMA Class				
Weight / Shell 565,12 kg					Filled with Water 1524,74 kg					Bundle 360,83 kg				
Remarks														



7.2 Intercambiador agua-agua

El intercambiador de calor de carcasa y tubos es de dos pasos por tubo y uno por carcasa. Por cada paso por tubo circulan 9,43 kg/s de agua de proceso que se precalienta antes de su llegada al segundo intercambiador de calor conexas en serie. Por la carcasa circulan 8,061 kg/s de aceite de motor que se enfría hasta llegar a la temperatura requerida por el motor en el que opera.

La carcasa es de acero inoxidable 316. Esta, tiene un diámetro interior de 387,4 mm y un espesor de 9,5 mm.

Los tubos son de acero inoxidable 316, tienen una longitud total de 6,06 metros y de 3,03 metros por paso. Su diámetro exterior es de 26,9 mm y su espesor es de 1,6 mm. Hay un total de 40 tubos.

Las barras de soporte tienen un diámetro de 26,9 mm y miden 3,03 m de longitud. Hay 6 barras de soporte distribuidas uniformemente por el haz de tubos.

La placa portatubos tienen un diámetro de 406,4 mm y un espesor de 25,4 mm. Cuenta con 40 orificios en donde se alojarán los tubos del intercambiador, y 6 taladros en los que se colocarán las barras de soporte. El material de la placa de tubos es acero inoxidable 316.

El cabezal frontal y el posterior son de acero inoxidable 316, tienen un espesor de 9,5 mm y un diámetro interno de 387,4 mm. La longitud de los cabezales es de 500 mm.


Los cabezales y la carcasa van unidos por medio de bridas tipo Welding Neck de 16" (DN400 mm) de acero inoxidable 316.

Las conexiones del cabezal frontal y de la carcasa van unidas por medio de bridas tipo Welding Neck de 4" (DN100 mm) de acero inoxidable 316.

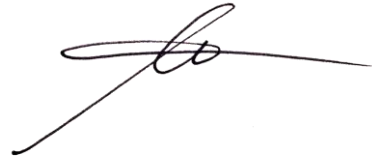
Las especificaciones de dicho intercambiador se pueden ver en la siguiente tabla.

Las especificaciones de dicho intercambiador se recogen en una hoja de especificación cuyo formato está establecido por las normas TEMA. Esta hoja de especificación se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3. Especificaciones del intercambiador agua-agua.

Customer				Escola Politécnica Superior de Ferrol				Job No.																																																							
Address				Campus de Esteiro, Rúa Mendizábal s/n – 15403 Ferrol				Reference No.																																																							
Service of Unit				Heat Exchanger				Proposal No.																																																							
Size				4154,8 mm				Type				AEA Horizontal				Connected in				Series																																											
Surf/Unit (Gross/Eff.)				9,02 / 9,02				m2				Shell/unit				1				Surf/Unit (Gross/Eff.)				9,02/ 9,02				m2																																			
PERFORMANCE OF ONE UNIT																																																															
Fluid Allocation								Shell Side								Tube Side																																															
Fluid Name								Engine Oil								Water																																															
Fluid Quantity Total								kg/s								8,062								9,48																																							
Vapor (In/Out)																																																															
Liquid								8,062								8,062								9,48								9,48																															
Steam																																																															
Water																																																															
Noncondensable																																																															
Temperature								°C								91								83								53,165								60																							
Specific Gravity																0,98								0,98								1								1																							
Viscosity, Liquid								kg/m-s								3,26E-04								3,26E-04								4,88E-04								4,88E-04																							
Molecular Weight, Vapor																																																															
Molecular Weight, Noncondensable																																																															
Specific Heat								kJ/kg-K								2,098								2,098								4,183								4,183																							
Thermal Conductivity								W/m-K								0,1396								0,1396								0,6482								0,6482																							
Latent Heat																																																															
Inlet Pressure								kPa								450																																															
Velocity								m/s								0,76																0,55																															
Pressure Drop, Allow. / Calc.								kPa								50								/								20,08								10								/								2,91							
Fouling Resistance (Min.)																0,00004																0,00004																															
Heat Exchanged								284,55								kW								LMTD (Corrected)								30,41								°C																							
Transfer Rate, Service																Clean																BTU / hr sq ft °F																															
CONSTRUCTION OF ONE SHELL												Sketch (Bundle/Nozzle Orientation)																																																			
				Shell Side				Tube Side																																																							
Design / Test Pressure				kPa				400																400																																							
Design Temp. Max/Min				°C				100																100																																							
No. Passes per Shell								1																6																																							
Corrosion Allowance				mm				1																1																																							
Size & Rating		In		mm		102,3		102,3		102,3														102,3																																							
		Out		mm		102,3		102,3		102,3																																																					
		Intermediate																																																													
Tube No.				40				OD				26.9 mm				Thk				1.6 mm				Pitch				43 mm				↖ 30																															
Tube Type				Plain								Material				Stainless Steel 316																																															
Shell				387,4/ 406,4				ID / OD				mm				Shell Cover				Stainless Steel 316																																											
Channel or Bonnet				Stainless Steel 316								Channel Cover				Stainless Steel 316																																															
Tubesheet-Stationary				Stainless Steel 316								Tubesheet-Floating				Stainless Steel 316																																															
Floating Head Cover				Stainless Steel 316								Impingement Protection				None																																															
Baffles-Cross				44				Type				Segmental				%Cut				25				Spacing:				118				mm																															
Baffles-Long				None								Seal Type																																																			
Supports-Tube				6				U-Bend								Type				None																																											
Bypass Seal Arrangement												Tube-to-Tubesheet Joint																																																			
Expansion Joint												Type																																																			
Gaskets-Shell Side												Tube Side																																																			
Floating Head																																																															
Code Requirements												TEMA Class																																																			
Weight / Shell				201,60				kg				Filled with Water				549,86				kg				Bundle				93,57				kg																															
Remarks																																																															

En Ferrol, a diciembre de 2018.

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized 'B' followed by a horizontal line and a diagonal stroke.

Fdo.: Begoña Espiñeira Sicre



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO
CURSO 2018/19**

***DISEÑO INGENIERIL Y MECÁNICA DE
RECUPERADORES DE CALOR EN MOTOR
DIÉSEL PARA PLANTA DE COGENERACIÓN***

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

**ANEJO I: CÁLCULOS DEL INTERCAMBIADOR DE
CALOR DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN DEL ACEITE**

Índice

1. Diseño ingenieril del regenerador	7
1.1 Cálculo del área de transferencia	8
1.2 Número de tubos	10
1.3 Longitud de los tubos	11
1.4 Cálculo del coeficiente transferencia de calor por convección en el flujo interno	11
1.5 Cálculo del coeficiente de transferencia de calor en el flujo externo	13
1.5.1 Método de Kern	13
2. Pérdida de carga	16
2.1 Pérdida de carga en los tubos	16
2.2 Pérdida de carga en la carcasa	17
3. Diseño mecánico	18
3.1 El código ASME	18
3.2 Las normas TEMA	18
3.3 Materiales	20
3.4 Tubos	21
3.4.1 Cálculo del diámetro	21
3.4.2 Cálculo del espesor mínimo	21
3.5 Patrón de tubos	22
3.6 Bridas	22
3.6.1 Bridas de unión	22
3.6.2 Bridas de conexión	24
3.6.3 Bridas tapa	25
3.6.4 Juntas	26
3.7 Diámetro de la carcasa	26
3.8 Baffles	27
3.8.1 Baffles transversales	27
3.9 Barras de soporte	28
3.10 Placas de partición	29
3.11 Cabezales	29
3.11.1 Longitud de los cabezales	29
3.11.2 Longitud del tubo de la brida	30
3.11.3 Cabezal frontal	30
3.11.4 Cabezal posterior	31
3.12 Placas de tubos	32
3.12.1 Placa frontal	32
3.12.2 Placa posterior	33
3.13 Soldaduras	33
3.14 Resultados	34
3.14.1 Diseño ingenieril del regenerador	34

3.14.2 Coeficiente de transferencia de calor en el flujo externo	35
3.14.3 Coeficiente de transferencia de calor en el flujo interno	36
3.14.4 Pérdida de carga	37
3.14.5 Diseño mecánico	38

Índice de figuras

<i>Figura 1: Vista isométrica intercambiador aceite-agua</i>	7
<i>Figura 2: Gráfica factor de corrección de la diferencia de temperaturas media logarítmica para intercambiador de un paso por carcasa y número par de pasos por tubo.</i>	10
<i>Figura 3. Diámetro equivalente, áreas de sección transversal y perímetros.</i>	13
<i>Figura 4. Factores de transferencia de calor en el lado de la carcasa</i>	14
<i>Figura 5. Factores de fricción del lado de la carcasa.</i>	15
<i>Figura 6. Factores de fricción del lado del tubo.</i>	16
<i>Figura 7. Esquema intercambiador aceite-agua.</i>	18
<i>Figura 8. Nomenclatura de los intercambiadores de calor de carcasa y tubos según las normas TEMA.</i>	19
<i>Figura 9. Nomenclatura de los intercambiadores de calor de carcasa y tubos según las normas TEMA.</i>	19
<i>Figura 10. Patrón de tubos triangular.</i>	22
<i>Figura 11. Plano perfil Brida Welding Neck Class 150 lbs.</i>	23
<i>Figura 12. Modelado Brida Welding Neck Class 150 lbs DN600.</i>	23
<i>Figura 13. Modelado Brida Welding Neck Class 150 lbs DN100</i>	24
<i>Figura 14. Modelado Brida Ciega Class 150 lbs.</i>	25
<i>Figura 15. Configuraciones de baffles transversales según las normas TEMA.</i>	27
<i>Figura 16. Modelado baffle transversal</i>	28
<i>Figura 17. Modelado cabezal frontal.</i>	30
<i>Figura 18. Modelado cabezal posterior.</i>	31
<i>Figura 19. Modelado placa de tubos frontal.</i>	32
<i>Figura 20. Modelado placa de tubos posterior.</i>	33

Índice de tablas

<i>Tabla 1. Composición química del acero 316.</i>	20
<i>Tabla 2. Propiedades mecánicas del acero inoxidable 316.</i>	20
<i>Tabla 3. Dimensiones Brida Welding Neck Class 150 lbs DN600 (mm).</i>	22
<i>Tabla 4. Dimensiones Brida Welding Neck Class 150 lbs DN100 (mm).</i>	24
<i>Tabla 5. Dimensiones Brida Ciega Class 150 lbs (mm).</i>	25
<i>Tabla 6. Valor de la constante CTP.</i>	26
<i>Tabla 7. Espesor de los baffles transversales.</i>	27
<i>Tabla 8. Dimensiones y número de barras de soporte según las normas TEMA.</i>	28
<i>Tabla 9. Espesor mínimo de las placas de partición según las normas TEMA.</i>	29
<i>Tabla 10. Resultados del diseño ingenieril.</i>	34
<i>Tabla 11. Resultados del cálculo del coeficiente de transferencia de calor en el flujo externo.</i>	35
<i>Tabla 12. Resultados del cálculo del coeficiente de transferencia de calor en flujo interno</i>	36
<i>Tabla 13. Resultados de la pérdida de carga en los tubos.</i>	37
<i>Tabla 14. Resultados de la pérdida de carga en la carcasa.</i>	37
<i>Tabla 15. Resultados del diseño mecánico de los tubos.</i>	38
<i>Tabla 16. Resultados del diseño mecánico de la carcasa.</i>	38
<i>Tabla 17. Resultados del diseño mecánico de las bridas.</i>	39
<i>Tabla 18. Resultados del diseño mecánico de los baffles.</i>	39
<i>Tabla 19. Resultados del diseño mecánico de las placas de partición y de las barras de soporte.</i>	39
<i>Tabla 20. Resultados del diseño mecánico de los cabezales.</i>	40

1. DISEÑO INGENIERIL DEL REGENERADOR

En este apartado se describe el proceso de cálculo del área de transferencia de calor del intercambiador, así como el número de tubos, la longitud y el diámetro de estos.

También se incluirá el cálculo de los coeficientes de transferencia de calor para el flujo interno y para el flujo externo.

El intercambiador de calor será de carcasa y tubos. Por él circulará el aceite utilizado en el motor diésel por el interior de los tubos y por la carcasa circulará el agua de proceso que queremos calentar, con el conjunto de los intercambiadores conectados en serie, hasta los 60°C.

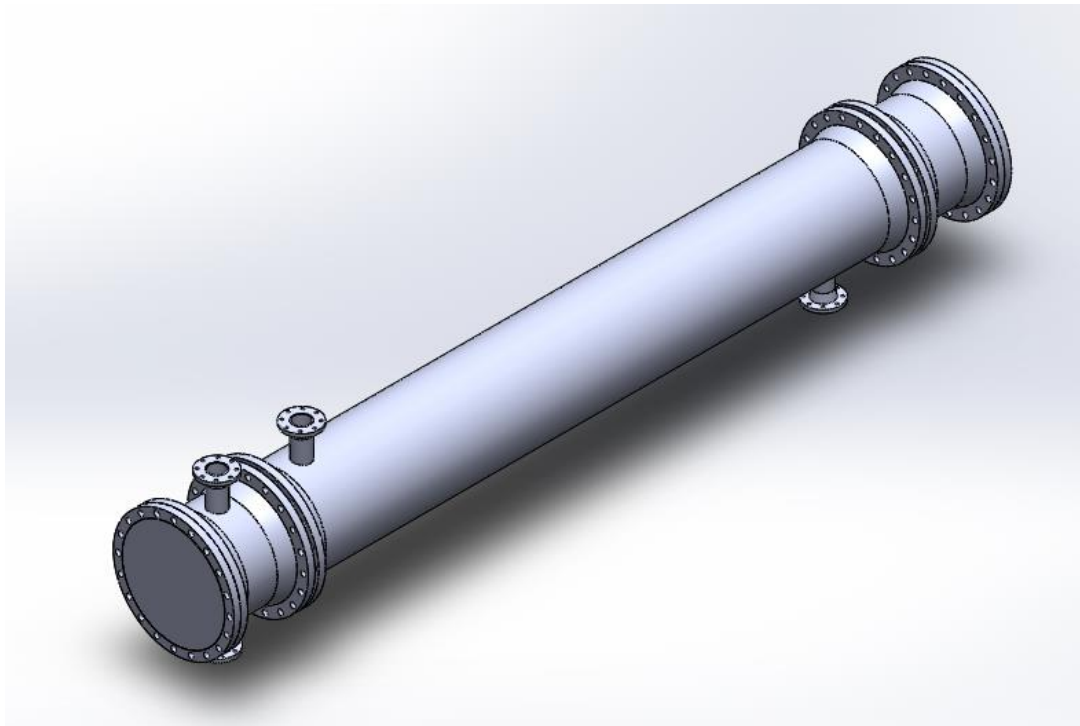


Figura 1: Vista isométrica intercambiador aceite-agua

1.1 Cálculo del área de transferencia

El área de transferencia de calor del evaporador se calculará por medio del método de la ΔT_{ml} .

Para utilizar este método previamente se requieren las temperaturas de ambos fluidos a la entrada y a la salida del intercambiador. Estas temperaturas se obtuvieron de la guía de producto del motor escogido, Wärtsilä 6L20. A partir de estas temperaturas se determinan las propiedades termodinámicas a las temperaturas promedio entre la entrada y la salida empleando del programa de cálculo EES.

Conocidas las temperaturas medias de cada fluido en la entrada y en la salida del intercambiador, se procede a determinar la diferencia de temperaturas media logarítmica utilizando la ecuación (1):

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_{ce} - T_{fs}) - (T_{cs} - T_{fe})}{\ln\left(\frac{T_{ce} - T_{fs}}{T_{cs} - T_{fe}}\right)} \quad (1)$$

Donde:

- ΔT_{ml} es la diferencia de temperaturas media logarítmica.
- T_{ce} es la temperatura del fluido caliente a la entrada.
- T_{cs} es la temperatura del fluido caliente a la salida.
- T_{fe} es la temperatura del fluido frío a la entrada.
- T_{fs} es la temperatura del fluido frío a la salida.

La potencia del recuperador se calcula a partir de la ecuación de diseño, ecuación (2):

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_{ml} \cdot F \quad (2)$$

Siendo:

- A el área total de intercambio de calor.
- Q la potencia del regenerador.
- U el coeficiente global de transferencia de calor.
- F el factor de corrección de la diferencia de temperaturas media logarítmica.

Para hallar el área de transferencia se sobredimensionará la potencia del intercambiador un 5%, con este sobredimensionando del recuperador se hace posible que éste trabaje en las condiciones óptimas incluso cuando su resistencia térmica se vea aumentada por causa de la suciedad acumulada en su interior.

El valor del coeficiente global de transferencia de calor no es conocido, por lo tanto, debemos utilizar un método iterativo para calcular el área de transferencia de calor. Para ello, aplicaremos un método para el que se

requieren las siguientes variables: número de tubos, longitud de los tubos y diámetro de los tubos.

Para poder determinar el área de transferencia se fija el valor de dos de las variables descritas. Una vez fijados estos valores, se supone un valor del coeficiente global de transferencia de calor (U). Se elige un valor bibliográfico de este para llevar a cabo el primer cálculo, obteniendo de esta forma una primera solución del área total de transferencia de calor. A partir de esta solución obtendremos un número de tubos y también obtendremos los coeficientes de transferencia de calor por convección para el flujo exterior e interior. Conocidos estos coeficientes, así como los diámetros de los tubos y el número de tubos, se podrá determinar la resistencia térmica total equivalente del circuito y por consiguiente un nuevo valor del coeficiente global de transferencia de calor con la ayuda de las ecuaciones (3) y (4):

$$R_{total} = \frac{1}{N\pi D_i h_i L} + \frac{R''_{fi}}{N\pi D_i L} + \frac{\ln(D_e/D_i)}{N2\pi k L} + \frac{R''_{fe}}{N\pi D_e L} + \frac{1}{N\pi D_e h_e L} \quad (3)$$

Donde:

- R_{total} es la resistencia térmica total del circuito.
- N es el número de tubos del intercambiador.
- D_i es el diámetro interior de los tubos.
- h_i es el coeficiente de convección del flujo interior.
- L es la longitud de los tubos
- R''_{fi} es la resistencia térmica de contacto debido a la suciedad de los tubos en el interior.
- k es el coeficiente de conducción del material (ACERO AISI 316)
- R''_{fe} es la resistencia térmica de contacto debido a la suciedad de los tubos en el exterior.
- D_e es el diámetro exterior de los tubos.
- h_e es el coeficiente de convección del flujo exterior.

$$\frac{1}{UA} = R_{total} \quad (4)$$

Donde:

- A es el área total de intercambio de calor.
- U es el coeficiente global de transferencia de calor.
- R_{total} es la resistencia térmica total del circuito.

Si el valor del coeficiente global de transferencia de calor hallado de esta forma no coincide con el supuesto, se repetirá el proceso descrito de forma

iterativa hasta que los valores calculados en una iteración coincidan con los hallados en la anterior.

El valor de “F” se obtiene entrando en la gráfica de la figura 2 con los valores de R y P, que se calculan mediante las ecuaciones (5) y (6) respectivamente.

$$R = \frac{(T_{ce} - T_{cs})}{(T_{fs} - T_{fe})} \quad (5)$$

$$P = \frac{(T_{fs} - T_{fe})}{(T_{ce} - T_{fe})} \quad (6)$$

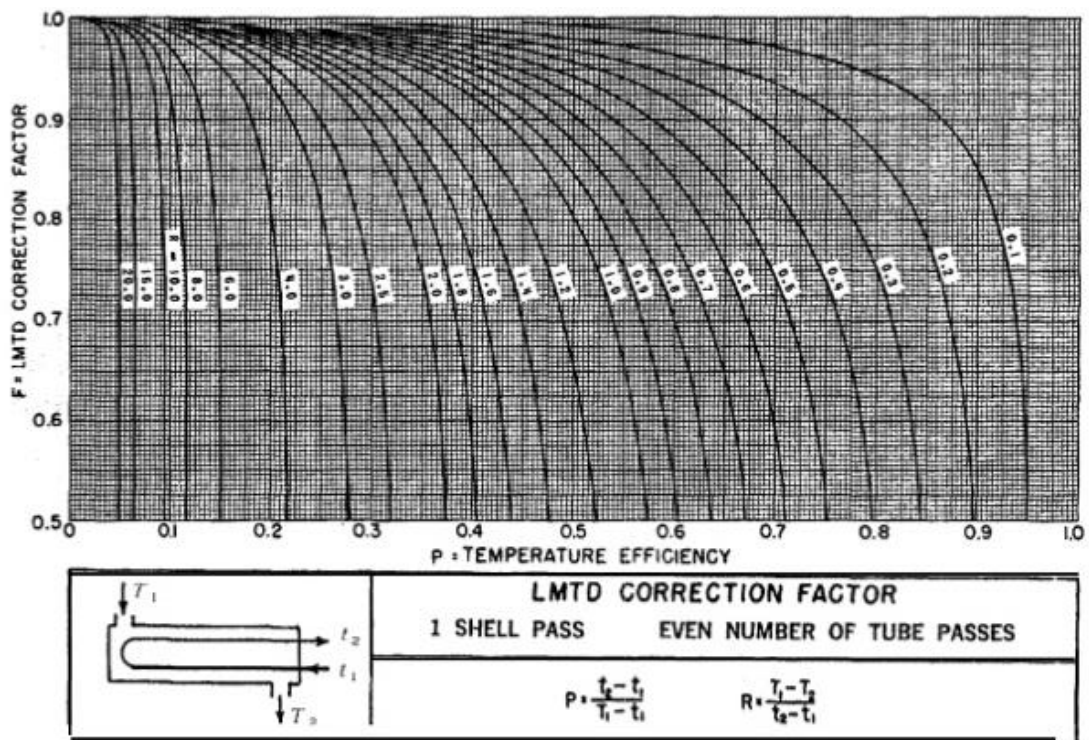


Figura 2: Gráfica factor de corrección de la diferencia de temperaturas media logarítmica para intercambiador de un paso por carcasa y número par de pasos por tubo.

1.2 Número de tubos

El número de tubos del intercambiador se determina a partir del área total de transferencia de calor (ecuación (7)) o bien podrá ser un valor fijado. En este caso, se fija la variable.

$$Nt = \frac{A}{A_{1tubo}} \quad (7)$$

Donde:

- A es el área total de transferencia de calor.
- A_{1tubo} es el área de la sección interior de un tubo.

El número de tubos por paso será:

$$N_{tpaso} = \frac{Nt}{p} \quad (8)$$

Siendo:

- p el número de pasos por tubo.
- N_{tpaso} el número de tubos por paso.

Siendo el área de la sección interior de un tubo:

$$A_{1tubo} = \pi L D_i \quad (9)$$

1.3 Longitud de los tubos

La longitud de los tubos por paso viene determinada por la siguiente ecuación:

$$L_{paso} = \frac{L}{p} \quad (10)$$

Siendo:

- L_{paso} la longitud del tubo por paso.
- p el número de pasos por tubo.

1.4 Cálculo del coeficiente transferencia de calor por convección en el flujo interno

Para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección se utiliza la siguiente ecuación:

$$Nu = \frac{h_i \cdot D_i}{k} \quad (11)$$

Siendo:

- Nu es el número de Nusselt.
- h_i es el coeficiente de transferencia de calor por convección del flujo interno.
- D_i es el diámetro interior del tubo.
- k es la conductividad térmica del fluido.

Para la determinación del valor del Nusselt se utiliza correlación de Dittus-Boelter dado que las condiciones de trabajo del evaporador en el flujo interno se encuentran entre los límites de dicha correlación:

$$Nu = 0.023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^n \quad (12)$$

Donde:

- Re : Número de Reynolds.
- Pr : Número de Prandtl

El parámetro n toma el valor de 0,4 ya que el fluido se calienta. Los valores del número de Prandtl, la conductividad térmica del fluido que circula por el interior de los tubos, la densidad y la viscosidad, se calculan por medio del software EES, utilizando los valores de la temperatura media de entrada y salida del agua de proceso y una presión media de 400 kPa.

El número de Reynolds se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{4 \cdot \dot{m}_{1tubo}}{\pi \cdot \mu \cdot D_i} \quad (13)$$

Donde:

- \dot{m}_{1tubo} es el caudal másico de agua de proceso que circula por un tubo.
- μ es la viscosidad dinámica del agua de proceso que circula por los tubos.
- D_i es el diámetro interior de los tubos.

Conocido el número de tubos, el número de pasos por tubo y el flujo másico total de agua de proceso, se calcula el flujo másico de agua por un tubo a partir de la siguiente expresión:

$$\dot{m}_{1tubo} = \frac{\dot{m}}{N_t} \cdot N_p \quad (14)$$

Donde:

- \dot{m}_{1tubo} es el caudal másico de agua de proceso que circula por un tubo.
- \dot{m} es el caudal másico de agua de proceso que circula por un tubo.
- N_t es el número de tubos.
- N_p es el número de pasos por tubo

1.5 Cálculo del coeficiente de transferencia de calor en el flujo externo

Se comienza calculando la velocidad del aceite por la carcasa empleando la siguiente ecuación:

$$\dot{m} = u \cdot \rho \cdot S \quad (15)$$

Siendo:

- “ u ” la velocidad del aceite de motor en la carcasa.
- “ ρ ” la densidad del aceite de motor.
- “ S ” la sección de paso.

Para la determinación del coeficiente de transferencia de calor en el flujo externo se utiliza el Método de Kern.

1.5.1 Método de Kern

Este método se basa en el trabajo experimental en intercambiadores comerciales con tolerancias estándar y da una predicción razonablemente satisfactoria del coeficiente de transferencia de calor para los diseños estándar.

La transferencia de calor en el lado de la carcasa y los factores de fricción se correlacionan mediante el uso de una velocidad y un diámetro de cubierta hipotéticos. El diámetro equivalente de la carcasa se calcula utilizando el área de flujo entre los tubos tomados en la dirección axial (paralela a los tubos) y el perímetro de estos, ver Figura 3.

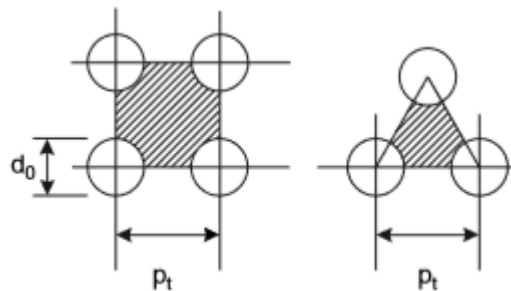


Figura 3. Diámetro equivalente, áreas de sección transversal y perímetros.

Los factores j_h y j_f del lado de la cubierta se dan en la figura 3 y 4, para varios cortes de baffle. El procedimiento para calcular el coeficiente de transferencia de calor en el lado de la carcasa se explica a continuación:

1. Se calcula el área de flujo cruzado A_s , dada por:

$$A_s = \frac{(p_t - d_o)D_s l_B}{p_t} \quad (16)$$

Donde:

- p_t es paso del tubo.
- d_o es el diámetro externo del tubo.
- D_s es el diámetro interno de la carcasa (m).

- l_B es el espacio entre baffles (m).
2. Se calcula el caudal másico del lado de la carcasa y la velocidad lineal:

$$G_s = \frac{W_s}{A_s} \quad (17)$$

$$u_s = \frac{G_s}{\rho} \quad (18)$$

Donde:

- W_s es el flujo másico por la carcasa (kg/s)
 - ρ densidad del fluido que circula por la carcasa (kg/m³)
3. Se calcula el diámetro equivalente de la carcasa o diámetro hidráulico. Para una disposición triangular:

$$d_e = \frac{1.10}{d_o} (p_t^2 - 0.917 d_o^2) \quad (19)$$

Donde d_e es el diámetro equivalente.

4. Se calcula el número de Reynolds en la carcasa.

$$Re = \frac{G_s d_e}{\mu} \quad (20)$$

5. Para el Reynolds calculado, buscamos el valor de j_h y de j_f para el corte de baffle y la disposición de tubos seleccionada en las Figuras 4 y 5.

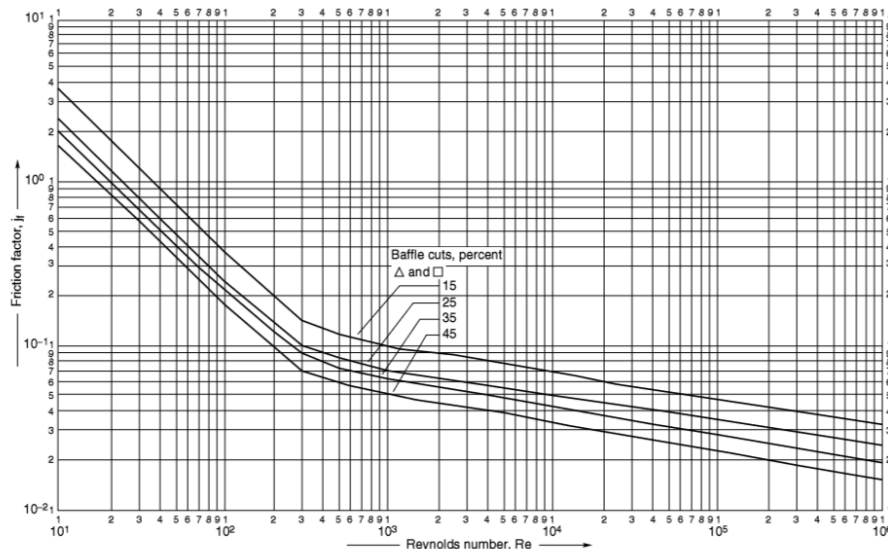


Figura 4. Factores de transferencia de calor en el lado de la carcasa

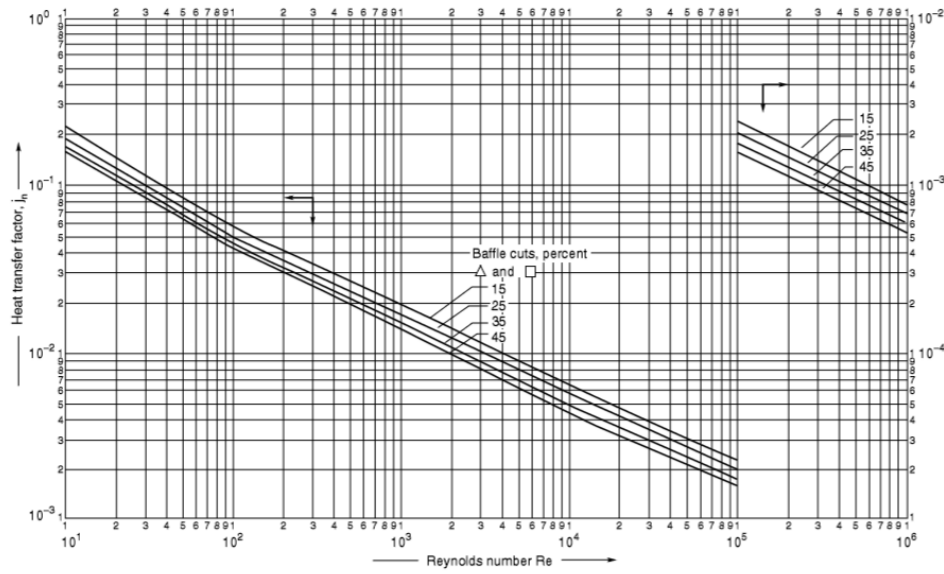


Figure 12.29. Shell-side heat-transfer factors, segmental baffles

Figura 5. Factores de fricción del lado de la carcasa.

6. Se calcula el coeficiente de transferencia de calor en el lado de la carcasa de la siguiente expresión:

$$Nu = \frac{h_s d_e}{k_f} = j_h Re Pr^{1/3} \quad (21)$$

7. Para el Reynolds calculado y con el factor j_f se calcula la caída de presión en la carcasa:

$$\Delta P_s = 8 j_f \left(\frac{D_s}{d_e} \right) \left(\frac{L}{l_B} \right) \frac{\rho u_s^2}{2} \quad (22)$$

2. PÉRDIDA DE CARGA

A continuación, se procede a determinar la pérdida de carga en la carcasa y en los tubos del recuperador de calor.

2.1 Pérdida de carga en los tubos

La pérdida de carga en los tubos se calcula mediante la ecuación (23):

$$\Delta P_t = 4 \cdot f \cdot \frac{L \cdot p}{D_i} \cdot \rho \cdot \frac{u_{max}^2}{2} \quad (23)$$

Donde:

- ΔP_t : Pérdida de carga en los tubos
- f : Factor de fricción.
- L : Longitud de los tubos.
- p : Número de pasos por tubo.
- D_i : Diámetro interior de los tubos.
- ρ : Densidad del agua de proceso.
- u_{max} : Velocidad máxima.

Siendo el factor de fricción el que se obtiene del diagrama de Moody para tubos lisos, entrando con el número de Reynolds en el interior de los tubos.

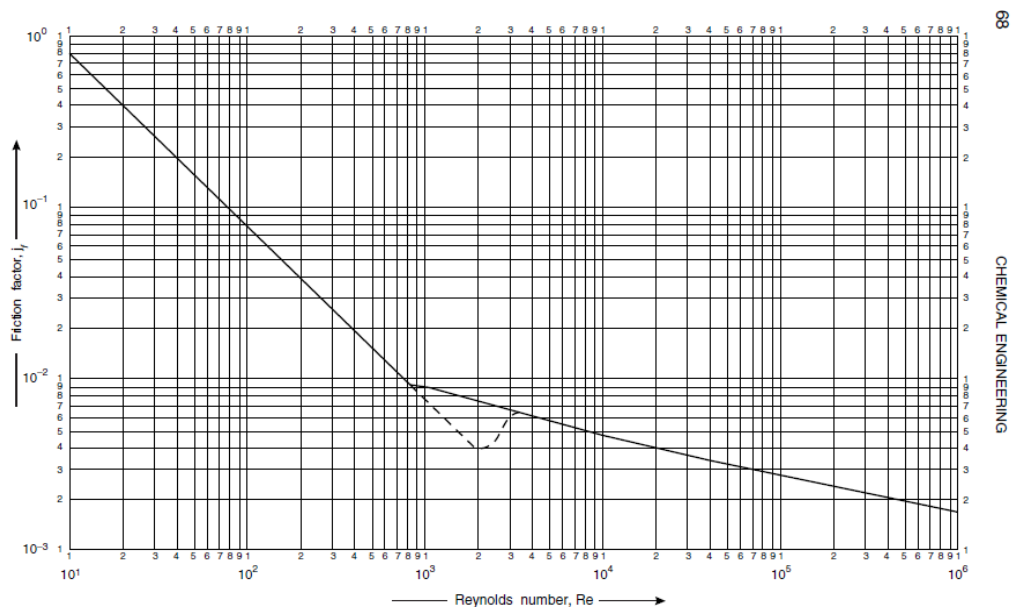


Figura 6. Factores de fricción del lado del tubo.

2.2 Pérdida de carga en la carcasa

La pérdida de carga en la carcasa se calcula mediante el Método de Kern, definido anteriormente. Se utiliza la ecuación (22)

3. DISEÑO MECÁNICO

En este apartado se procede a realizar el diseño mecánico del intercambiador de calor de carcasa y tubos, para esto se siguen las normas y recomendaciones presentes en el código ASME (American Society of Mechanical Engineers) así como en las normas TEMA (Tubular Exchanger Manufacturers Association).

3.1 El código ASME

El código ASME contiene directrices sobre el diseño, construcción, inspección y pruebas para equipos, calderas y recipientes a presión.

Se encuentra dividido en numerosas secciones, se han utilizado la sección VIII División 1 y la sección II parte D con el fin de realizar el diseño mecánico de este proyecto.

La sección VIII División 1 trata los siguientes aspectos: materiales, temperaturas máximas y mínimas, presiones de diseño, cargas y esfuerzos máximos admisibles del material, diseño a condiciones de presión interna y diseño a condiciones de presión externa entre otros.

La sección II parte D establece las propiedades y resistencias a la tensión de cada uno de los materiales.

3.2 Las normas TEMA

Las normas TEMA (Tubular Exchanger Manufacturers Association) recogen los estándares fijados por los fabricantes de intercambiadores de calor tubulares TEMA, estos estándares son seguidos en la mayor parte del mundo para su construcción y es aplicable a intercambiadores de calor de carcasa y tubos con un diámetro interior de carcasa máximo de 1524 mm, o una presión máxima de 207 bar.

Se encuentra dividido en 10 secciones, y hemos utilizado la mayor parte de ellas para la realización de este proyecto.

En esta norma en función de la forma del intercambiador, este tiene una nomenclatura que se define mediante tres letras. Cada una de estas letras define cómo es la forma del cabezal frontal, de la carcasa y del cabezal posterior, podemos observar las diferentes opciones en la Figura 8.

En nuestro caso, el intercambiador será del tipo AEA.

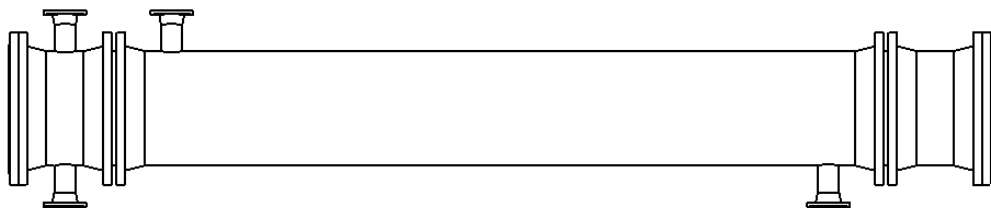


Figura 7. Esquema intercambiador aceite-agua.

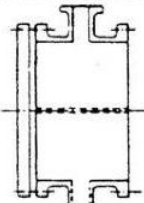
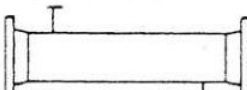
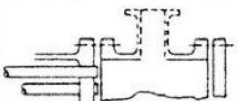
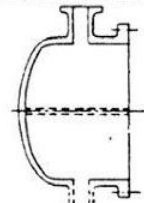
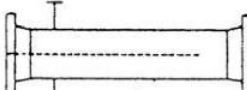
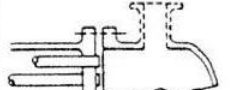
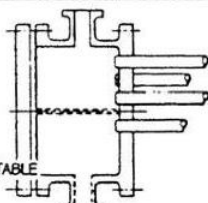
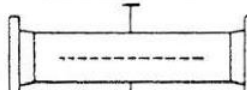
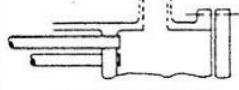
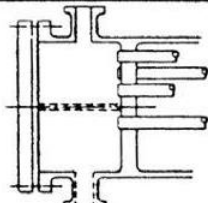
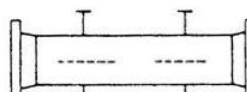
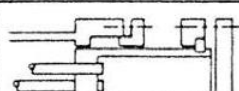
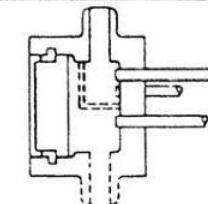
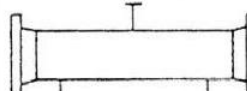
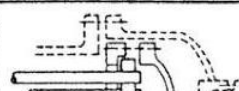
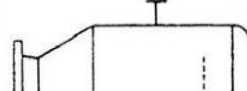
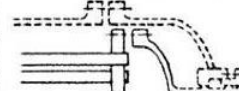
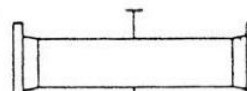
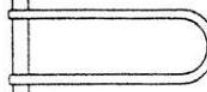
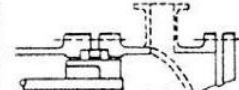
TIPOS DE CABEZAL ESTACIONARIO, EXTREMO FRONTAL		TIPOS DE CORAZAS		TIPOS DE CABEZALES, EXTREMO POSTERIOR	
A	 CANAL Y CUBIERTA DESMONTABLE	E	 CORAZA DE UN PASO	L	 DE ESPEJO FUJO COMO EL CABEZAL ESTACIONARIO "A"
B	 CASQUETE (CUBIERTA INTEGRADA)	F	 CORAZA DE DOS PASOS CON DEFLECTOR LONGITUDINAL	M	 DE ESPEJO FUJO COMO EL CABEZAL ESTACIONARIO "B"
C	 SOLO HAZ DE TUBOS DESMONTABLE CANAL INTEGRADO CON ESPEJO Y CUBIERTA DESMONTABLE	G	 DE FLUJO PARTIDO	N	 DE ESPEJO FUJO COMO EL CABEZAL ESTACIONARIO "N"
N	 CANAL INTEGRADO CON ESPEJO Y CUBIERTA DESMONTABLE	H	 DE FLUJO PARTIDO DOBLE	P	 CABEZAL FLOTANTE CON EMPAQUE EXTERIOR
D	 CIERRE ESPECIAL A ALTA PRESIÓN	J	 DE FLUJO DIVIDIDO	S	 CABEZAL FLOTANTE CON DISPOSITIVO DE APOYO
		K	 REHEVADOR DE CALDERA	T	 CABEZAL FLOTANTE SIN CONTRABRIDA
		X	 FLUJO CRUZADO	U	 HAZ DE TUBO EN U
				W	 ESPEJO FLOTANTE SELLADO EXTERNAMENTE

Figura 8. Nomenclatura de los intercambiadores de calor de carcasa y tubos según las normas TEMA.

3.3 Materiales

El material utilizado para nuestro intercambiador de calor es acero inoxidable tipo 316. Se trata de un acero de cromo y níquel austenítico que contiene molibdeno, esta adición permite que aumente la resistencia a la corrosión del material, además de mejorar la resistencia a picaduras de soluciones de iones de cloruro. También proporciona mayor resistencia a altas temperaturas.

Las propiedades de este acero son similares del tipo 304, excepto porque esta aleación es un poco más sólida a temperaturas elevadas. La resistencia a la corrosión es mejor.

Los requerimientos de su composición química son los siguientes:

Tabla 1. Composición química del acero 316.

Elemento	Porcentaje (%)
Carbón	0,03 máximo
Manganeso	2,00 máximo
Fósforo	0,045 máximo
Azufre	0,030 máximo
Silicio	0,75 máximo
Cromo	16,00 a 18,00
Níquel	10,00 a 14,00
Nitrógeno	0,10 máximo
Molibdeno	2,00 a 3,00

Podemos ver las propiedades mecánicas del acero inoxidable 316 en la siguiente tabla:

Tabla 2. Propiedades mecánicas del acero inoxidable 316.

Propiedad	Acero Tipo 316
Resistencia a la tensión (MPa)	860
Elasticidad (%)	60
Módulo elástico (10^3 MPa)	210
Densidad (kg/m^3)	7960
Conductividad térmica a 23°C	163
Calor específico (J/kg-K)	502

3.4 Tubos

Las dimensiones de los tubos son definidas por el código ASME B36.19M

3.4.1 Cálculo del diámetro

Para la determinación del diámetro de los tubos se toma como criterio la velocidad máxima del fluido en el interior de estos. Se calcula el flujo másico que hay en un tubo como:

$$\dot{m}_{1tubo} = \frac{\dot{m}}{N_t} \cdot N_p \quad (24)$$

Donde:

- \dot{m}_{1tubo} es el caudal másico de agua de proceso que circula por un tubo.
- \dot{m} es el caudal másico de agua de proceso que circula por un tubo.
- N_t es el número de tubos.
- N_p es el número de pasos por tubo.

Determinado el caudal másico por un tubo, se procede a obtener el diámetro del tubo, teniendo en cuenta que la velocidad máxima del fluido por el interior de los tubos es de 2 m/s. Teniendo en cuenta estos factores, sacamos el diámetro interno a partir de la ecuación (25):

$$u = \frac{4 \cdot \dot{m}_{1tubo}}{\rho \cdot \pi \cdot D_i^2} \quad (25)$$

Donde:

- ρ es la densidad media del agua de proceso.
- u es la velocidad del agua de proceso.
- D_i es el diámetro interior de los tubos.

Una vez establecido el diámetro que cumple con las necesidades mecánicas y de velocidad, se escoge un diámetro de tubo comercial y se repiten las comprobaciones hasta encontrar uno que cumpla.

3.4.2 Cálculo del espesor mínimo

Se calcula el espesor mínimo siguiendo el código ASME para tuberías a presión, apartado B31.

$$t_{min} = \frac{P \cdot D}{2 \cdot (S \cdot E \cdot W + P \cdot Y)} \quad (26)$$

Siendo:

- P la presión de diseño en kPa.
- D el diámetro exterior en mm.
- S el valor del esfuerzo del material.
- E el factor de calidad.
- W el factor de reducción de la resistencia de la junta de la soldadura.
- Y el coeficiente que depende del material y de la temperatura de diseño.

El valor de S se obtiene de la tabla 2 y el valor de W es 1 ya que no está soldado.

Conocido el espesor mínimo, se selecciona un tubo con espesor mayor y que cumpla el criterio de velocidades.

3.5 Patrón de tubos

El patrón de tubos seleccionado para el presente proyecto es de distribución triangular a 60° .

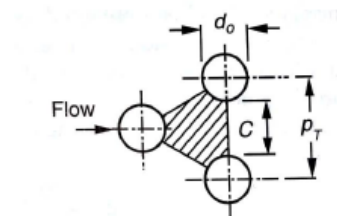


Figura 10. Patrón de tubos triangular.

La norma TEMA establece que la distancia entre centros de dos tubos ha de ser siempre mayor o igual a $6.4mm$ y mayor o igual a 1.25 veces el diámetro externo del tubo. Para este intercambiador se elige una distancia de 1.14 veces el diámetro externo de los tubos, cumpliendo ambos requisitos.

3.6 Bridas

Las bridas escogidas están diseñadas según las directrices aportadas por la norma ASME B16.5.

3.6.1 Bridas de unión

Se entiende por bridas de unión aquellas que se utiliza para unir el cabezal frontal y posterior a la carcasa, así como las bridas que unen la tapa al cabezal frontal.

Las bridas seleccionadas son tipo Welding Neck Class 150 lbs, según la norma ASME B16.5.

En este tipo de bridas el diámetro interior es especificado en base a las necesidades de diseño, siempre y cuando se mantenga un espesor mínimo de la brida, determinado en el catálogo.

Tabla 3. Dimensiones Brida Welding Neck Class 150 lbs DN600 (mm).

Tamaño nominal tubería	ØO	Ø tf	ØX	ØA	ØY	Ø R	Ø K centro tal.	N.º taladros	Ø tal. L	Ø Tornillo
24"(600)	815	46,1	663	610	151	692,2	749,3	20	34,925	31,75

El fabricante nos especifica las dimensiones de la brida con la ayuda de la tabla 3 y la figura 11, en la que se representa la brida en un plano con todas sus dimensiones.

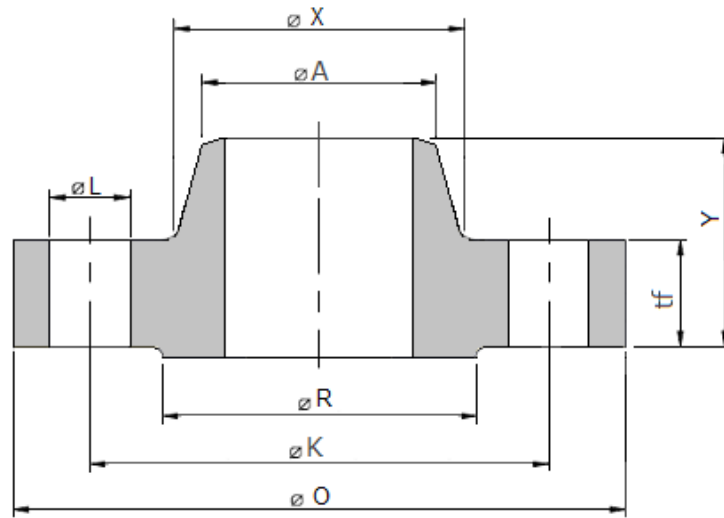
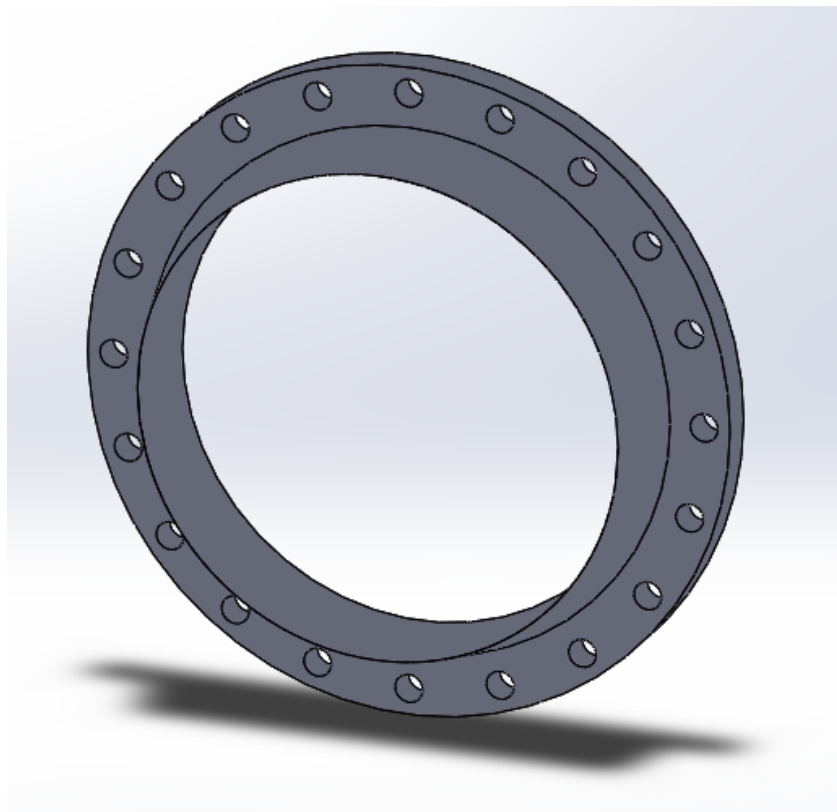


Figura 11. Plano perfil Brida Welding Neck Class 150 lbs.

A continuación, podemos ver el modelado 3D de la brida realizado para el ensamblaje del conjunto.



**Figura 12. Modelado Brida Welding Neck Class 150 lbs
DN600.**

3.6.2 Bridas de conexión

Las bridas de conexión son las bridas que unen los tubos de distribución a la carcasa y al cabezal frontal, por donde entran y salen los fluidos del intercambiador de calor de carcasa y tubos.

El criterio de selección de estas bridas será el cumplimiento de la velocidad máxima del fluido en su paso por las bridas. Esta velocidad podrá ser de máximo 2 m/s. Calculamos mediante la expresión 27 el diámetro interior necesario de la brida.

$$u = \frac{\dot{m}}{\rho \cdot \pi \cdot \frac{D_i^2}{4}} \quad (27)$$

Donde:

- u es la velocidad del fluido durante su paso por la brida.
- \dot{m} es el flujo másico del fluido.
- D_i es el diámetro interior de la brida.

Aplicando esta ecuación obtenemos una velocidad de 1.2 m/s y 1.16 m/s para un diámetro nominal de 100 mm. Por lo tanto, todas las bridas de conexión se escogen de diámetro nominal 100 mm.

Tabla 4. Dimensiones Brida Welding Neck Class 150 lbs DN100 (mm).

Tamaño nominal tubería	ØO	Ø tf	ØX	ØA	ØY	Ø R	Ø K centro tal.	N.º taladros	Ø tal. L	Ø Tornillo
4"(100)	230	22.3	135	114.3	75	157.2	190.5	8	19.05	15.875

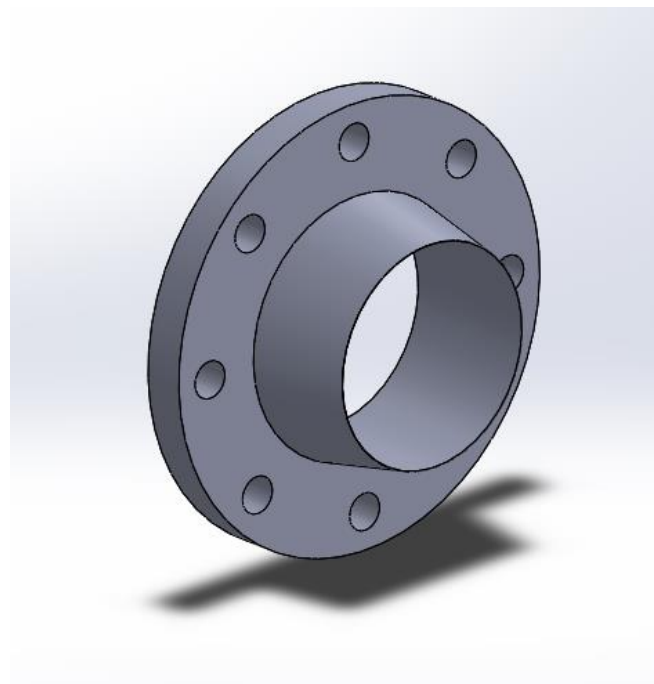


Figura 13. Modelado Brida Welding Neck Class 150 lbs DN100

Se seleccionan el mismo tipo de bridas, bridas Welding Neck Class 150 lbs, pero en este caso con un DN de 100 mm. Las dimensiones definidas por el fabricante se encuentran en la Tabla 4.

3.6.3 Bridas tapa

Estas bridas son las que cierran los extremos de los cabezales junto con las bridas de unión.

Estas bridas han de ser de las mismas dimensiones que las bridas de unión, pero la diferencia es que tienen que ser ciegas, de ahí su nomenclatura.

Se selecciona la Brida Ciega Class 150 lbs de acuerdo con la norma ASME B16.5.

Tabla 5. Dimensiones Brida Ciega Class 150 lbs (mm).

Tamaño nominal tubería	ØO	Ø tf	Ø R	Ø K centro tal.	N.º taladros	Ø tal. L	Ø Tornillo
24"(600)	815	46,1	692,2	749,3	20	34,925	31,75

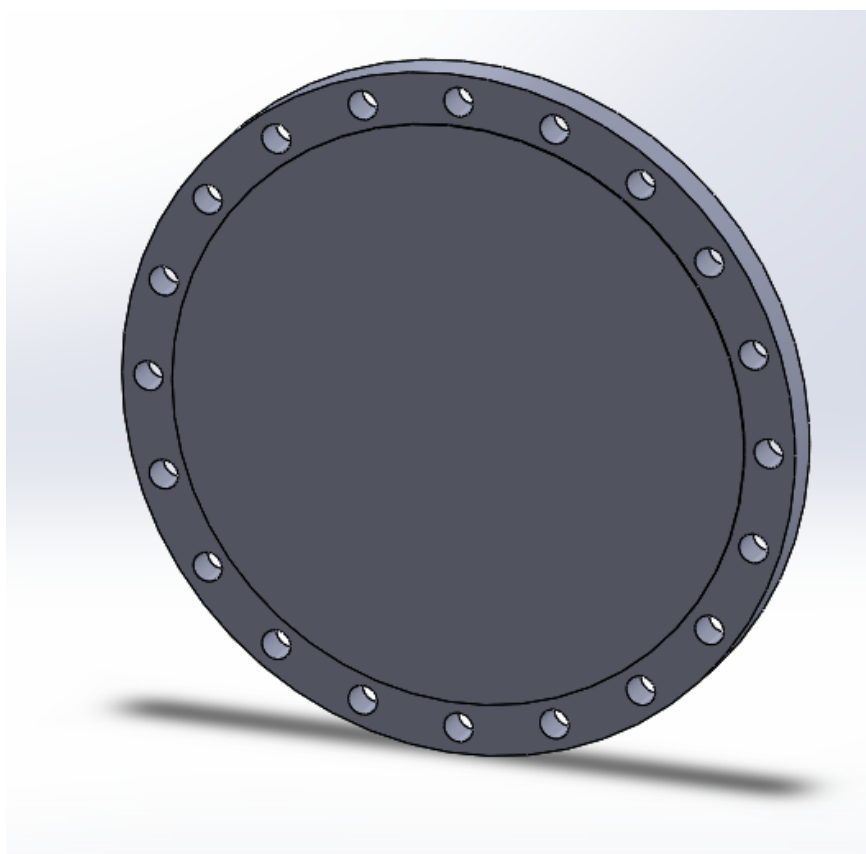


Figura 14. Modelado Brida Ciega Class 150 lbs.

3.6.4 Juntas

Se seleccionan juntas comerciales tipo DURLON FGM316 de acuerdo con la norma ASTM F38.

Estas juntas están formadas por una capa de grafito flexible impermeable unida por medio de un adhesivo a múltiples núcleos de acero 316 de 0.004" de espesor.

3.7 Diámetro de la carcasa

El diámetro de la carcasa se calcula mediante la siguiente expresión:

$$D_s = 0,637 \cdot \sqrt{\frac{CL}{CTP}} \cdot \left(\frac{A_o \cdot (PR)^2 \cdot D_e}{L} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (28)$$

Siendo:

- D_s el diámetro interior de la carcasa.
- CL la constante de la disposición de los tubos.
- CTP constante según la Tabla 6
- A_o el área exterior de los tubos.
- PR la relación de distancias entre ejes de tubos contiguos.
- D_e el diámetro exterior de los tubos.
- L la longitud de los tubos.

Además:

$$PR = \frac{P_r}{D_e} \quad (29)$$

CTP es una constante que se incluye en la ecuación para tener en cuenta que no toda la carcasa está cubierta por tubos. El valor de CTP viene indicado en la Tabla 6:

Tabla 6. Valor de la constante CTP.

Número de pasos por tubo	CTP
1	0,93
2	0,9
3	0,85
4	0,813

El valor de CL depende de la disposición de los tubos. El valor es 1 si están orientados a 90 o 45° y es 0,87 si están orientados a 30 o 60°.

3.8 Baffles

3.8.1 Baffles transversales

El diseño de los baffles transversales se realiza siguiendo las indicaciones propuestas por las normas TEMA. Las principales configuraciones son las indicadas en la Figura 15.

Para el intercambiador se selecciona un tipo de baffles vertical. Dado que la longitud de tubo sin soportar es mayor a 914 mm y el diámetro exterior de los tubos es inferior a 31,8 mm los agujeros para los tubos tendrán que ser 0,08 mm mayores que el diámetro exterior de los tubos.

El espesor de los baffles se determina por medio de la Tabla 7.

Tabla 7. Espesor de los baffles transversales.

Nominal Shell ID	Plate Thickness				
	Unsupported tube length between central baffles. End spaces between tubesheets and baffles are not a consideration.				
	24 (610) and Under	Over 24 (610) to 36 (914) Inclusive	Over 36 (914) to 48 (1219) Inclusive	Over 46 (1219) to 60 (1524) Inclusive	Over 60 (1524)
6 - 14 (152-356)	1/8 (3.2)	3/16 (4.8)	1/4 (6.4)	3/8 (9.5)	3/8 (9.5)
15 - 28 (381-711)	3/16 (4.8)	1/4 (6.4)	3/8 (9.5)	3/8 (9.5)	1/2 (12.7)
29 - 38 (737-965)	1/4 (6.4)	5/16 (7.5)	3/8 (9.5)	1/2 (12.7)	5/8 (15.9)
39 - 60 (991-1524)	1/4 (6.4)	3/8 (9.5)	1/2 (12.7)	5/8 (15.9)	5/8 (15.9)
61 - 100 (1549-2540)	3/8 (9.5)	1/2 (12.7)	5/8 (15.9)	3/4 (19.1)	3/4 (19.1)

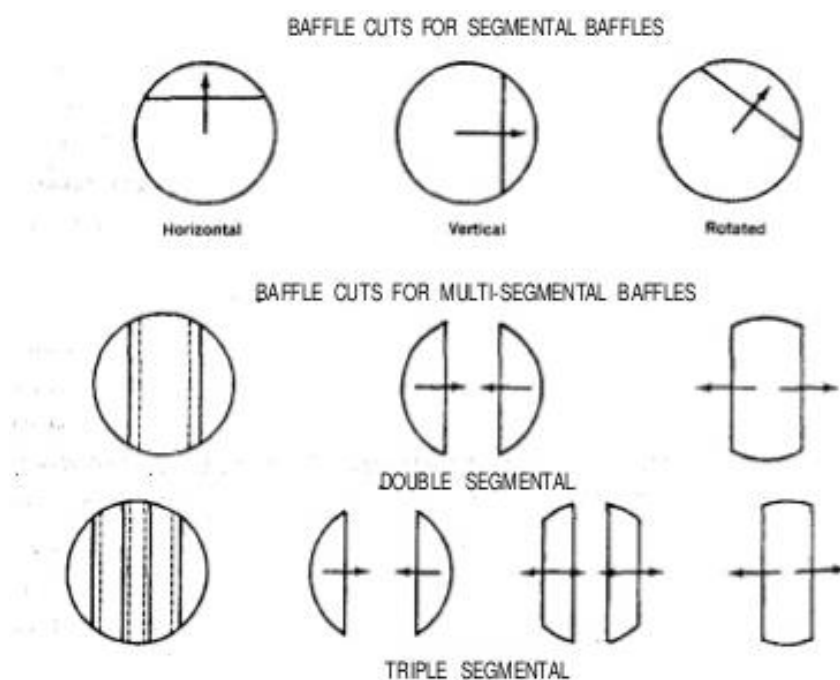


Figura 15. Configuraciones de baffles transversales según las normas TEMA.

En nuestro caso los baffles tendrán un corte del 25% y un espesor de 15,9 mm. Podemos observar el baffle diseñado en la Figura 16.

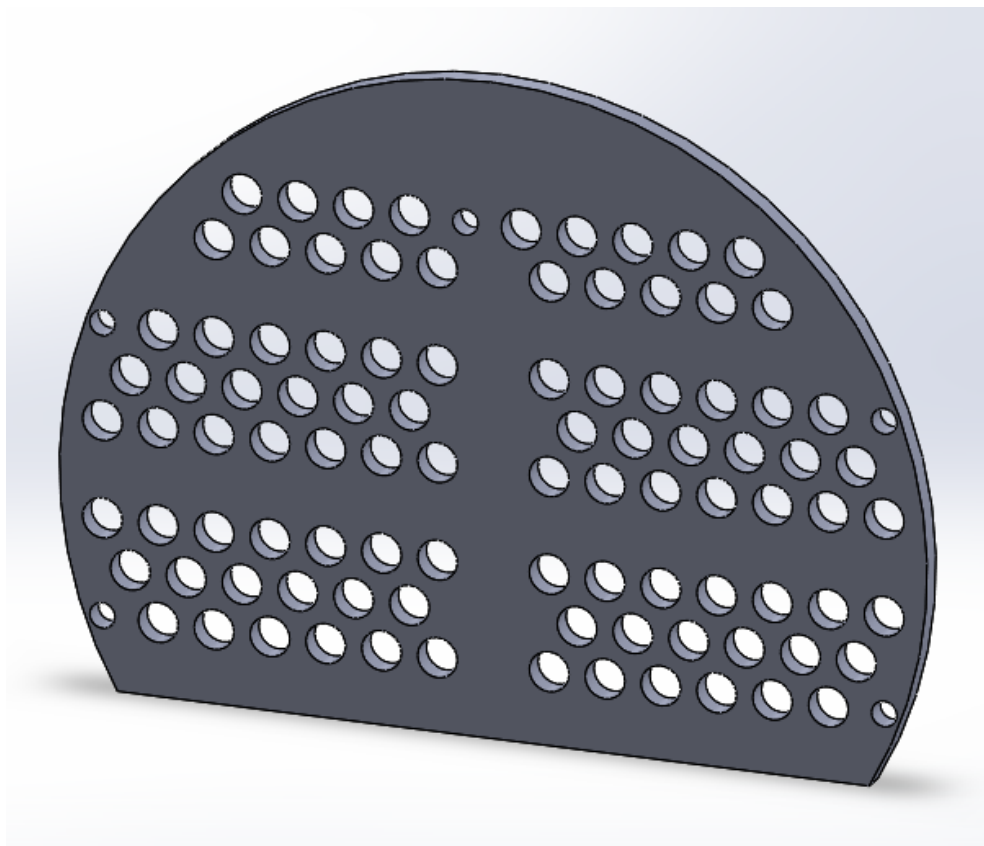


Figura 16. Modelado baffle transversal

3.9 Barras de soporte

Las barras de soporte se dimensionan según la siguiente tabla proporcionada por las normas TEMA.

Tabla 8. Dimensiones y número de barras de soporte según las normas TEMA.

Nominal Shell Diameter		Tie Rod Diameter	Minimum Number of Tie Rods
6 - 15	(152-381)	3/8 (9.5)	4
16 - 27	(406-686)	3/8 (9.5)	6
28 - 33	(711-838)	1/2 (12.7)	6
34 - 48	(864-1219)	1/2 (12.7)	8
49 - 60	(1245-1524)	1/2 (12.7)	10
61-100	(1549-2540)	5/8 (15.9)	12

No obstante, la norma TEMA permite además otras combinaciones de número de barras de soporte y diámetros siempre y cuando estas no tengan un diámetro menor de 9,5 mm y no sean menos de 4.

3.10 Placas de partición

El espesor mínimo de las placas de partición se calcula mediante la siguiente tabla:

Tabla 9. Espesor mínimo de las placas de partición según las normas TEMA.

Nominal Size	Carbon Steel	Alloy Material
Less than 24 (610)	3/8 (9.5)	1/4 (6.4)
24 to 60 (610-1524)	1/2 (12.7)	3/8 (9.5)
61 to 100 (1549-2540)	5/8 (15.9)	1/2 (12.7)

3.11 Cabezales

En el intercambiador hay dos cabezales, uno frontal y otro posterior. Estos cabezales se diseñan según las normas TEMA.

El espesor mínimo de los cabezales se determina por la ecuación 30. Los dos cabezales han de tener este espesor mínimo según las normas TEMA.

$$t_{min} = d \cdot \sqrt{\frac{C \cdot P}{S \cdot E}} \quad (30)$$

Siendo:

- d el diámetro interno del cabezal.
- C el coeficiente
- P la presión de diseño.
- S la resistencia a la tensión del acero inoxidable 316.
- E la eficiencia de la junta.

3.11.1 Longitud de los cabezales

La longitud de los cabezales viene determinada por la ecuación 31.

$$L_{cabezal} = 1.3 \cdot \frac{\frac{\dot{m}}{u \cdot \rho}}{D_s} \quad (31)$$

Siendo:

- $L_{cabezal}$ la longitud mínima del cabezal.
- \dot{m} el flujo másico que circula por los tubos.
- u la velocidad del fluido que circula por los tubos.
- ρ la densidad del fluido que circula por los tubos.
- D_s el diámetro de la carcasa.

En este proyecto la longitud mínima es inferior al ancho de las bridas, por esto seogerá una distancia mayor al ancho de estas.

3.11.2 Longitud del tubo de la brida

Se calcula esta longitud de forma que tengamos espacio suficiente entre la brida y la carcasa o el cabezal para poder introducir herramientas en dicho espacio y facilitar el atornillado de los pernos.

La ecuación que define esta longitud es la siguiente:

$$\frac{L_{brida}}{D_{brida}} = 2 \quad (32)$$

Donde:

- L_{brida} es la distancia que hay entre la brida y la carcasa.
- D_{brida} es el diámetro interior de la brida.

3.11.3 Cabezal frontal

Podemos observar el cabezal frontal de este intercambiador en la Figura 17.

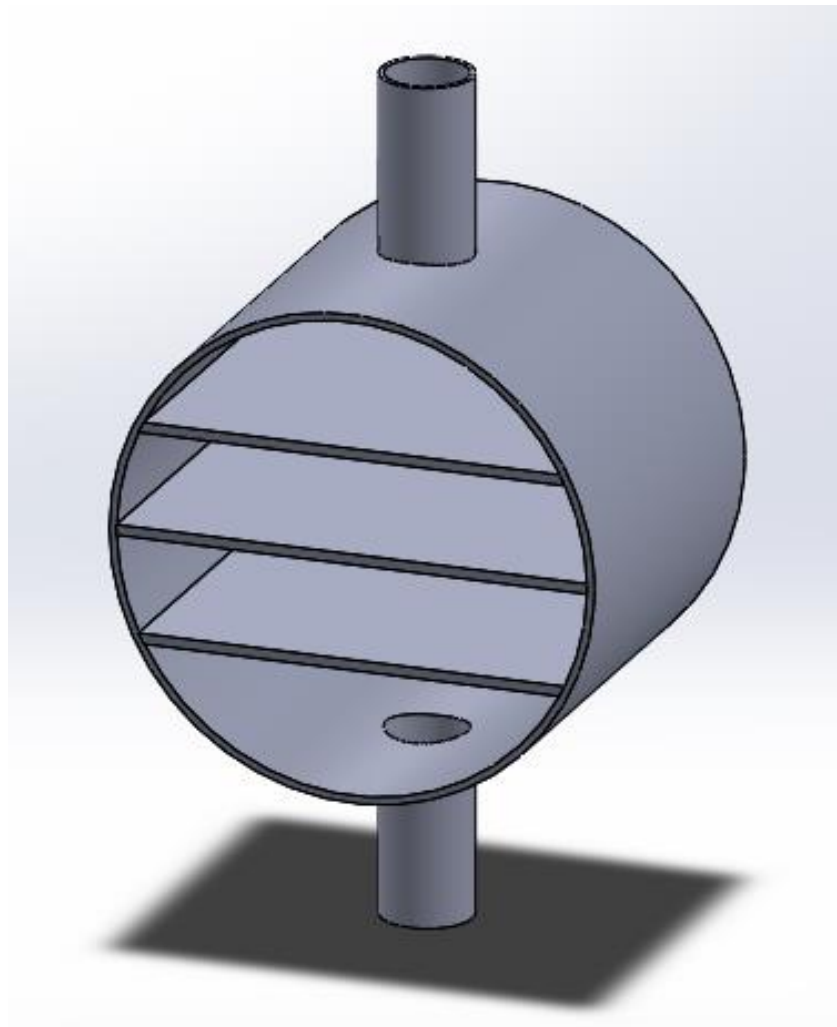


Figura 17. Modelado cabezal frontal.

3.11.4 Cabezal posterior

Podemos observar el cabezal posterior de este intercambiador en la Figura 18.

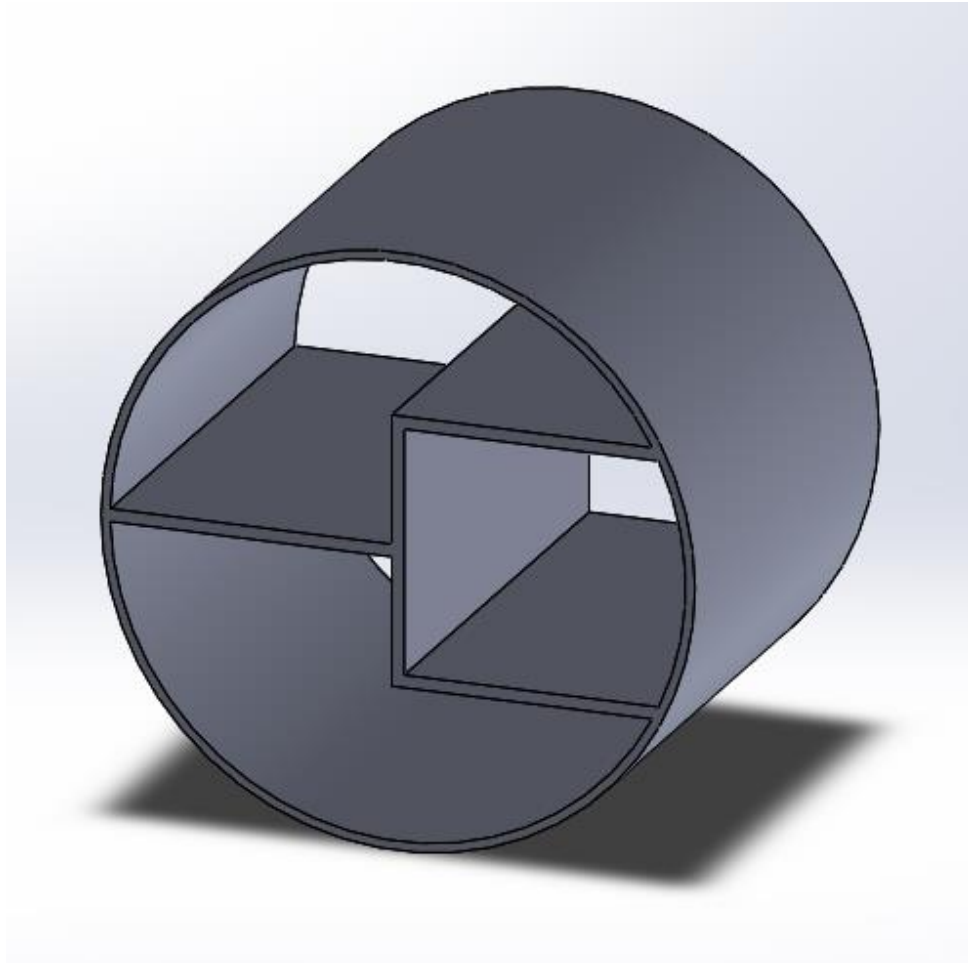


Figura 18. Modelado cabezal posterior.

3.12 Placas de tubos

El diseño mecánico de las placas de tubos se realiza según las normas TEMA. El espesor mínimo de la placa de tubos debe ser al menos 19,1 milímetros. En este proyecto las placas de tubos tienen un espesor de una pulgada.

3.12.1 Placa frontal

Podemos observar la placa frontal de este intercambiador en la Figura 19.

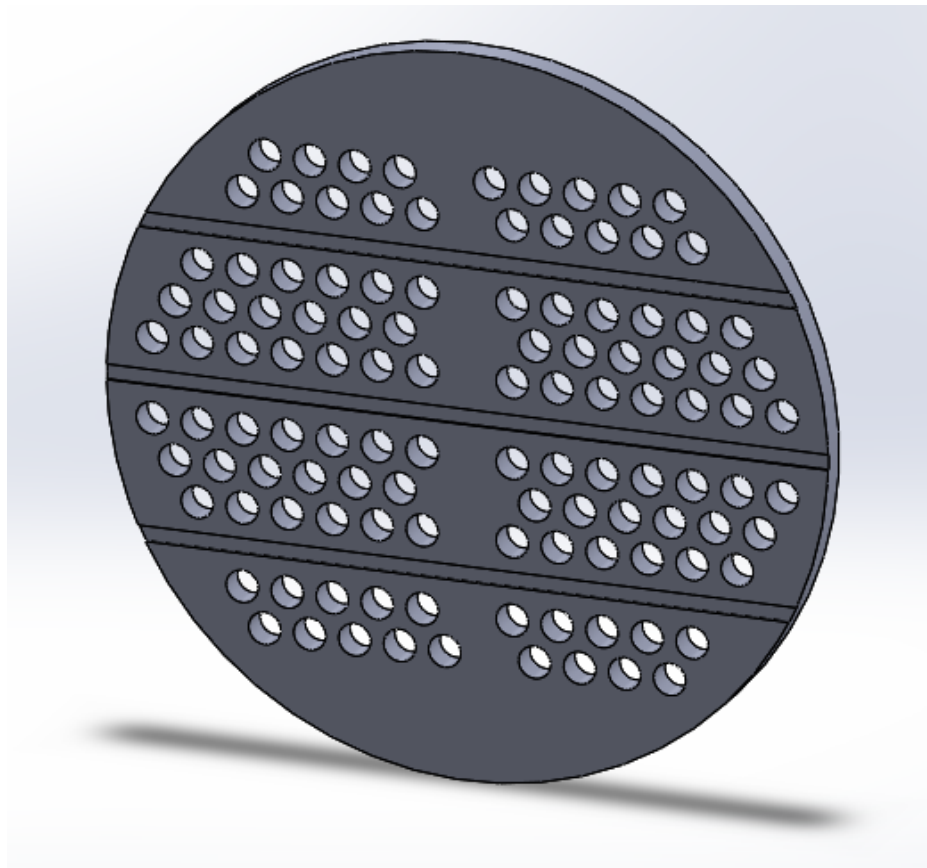


Figura 19. Modelado placa de tubos frontal.

Podemos observar que la placa tiene unas ranuras para colocar las placas de separación. En la zona posterior, la placa contiene unos agujeros para introducir las barras de soporte.

3.12.2 Placa posterior

Podemos observar la placa posterior de este intercambiador en la Figura 20.

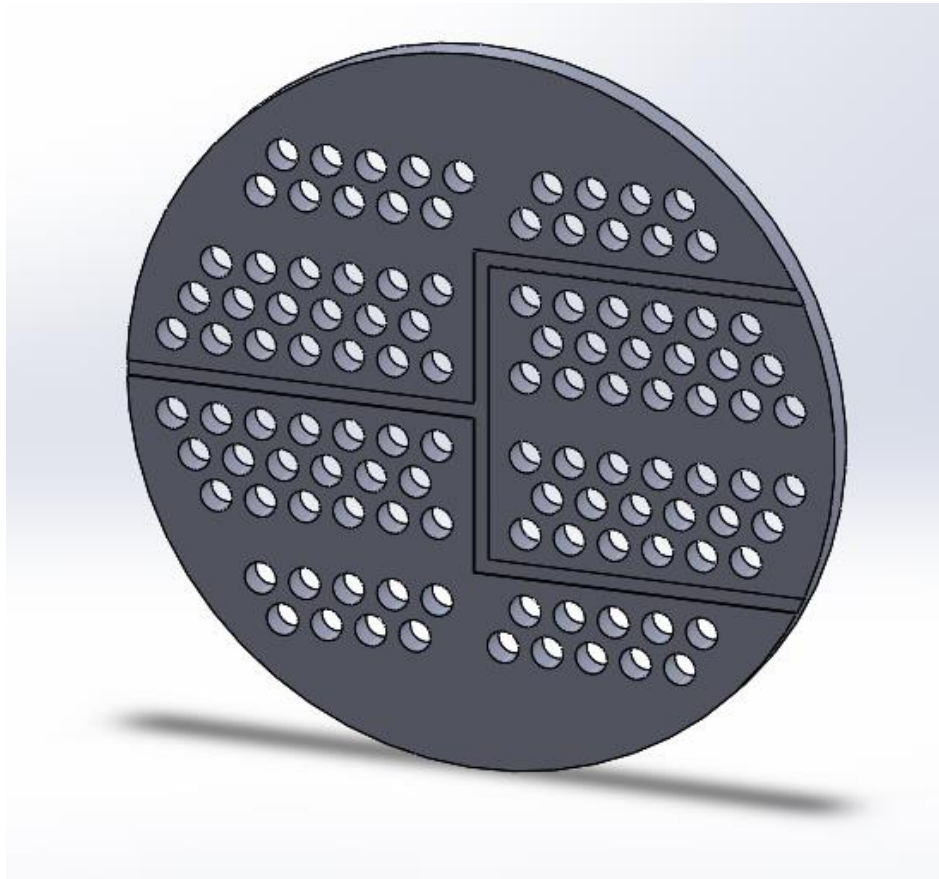


Figura 20. Modelado placa de tubos posterior.

3.13 Soldaduras

Las soldaduras se llevan a cabo por arco manual con electrodo revestido o SMAW (Shielded Metal Arc Welding), para acero inoxidable 316.

El material de aportación es acero inoxidable 316.

3.14 Resultados

3.14.1 Diseño ingenieril del regenerador

Tabla 10. Resultados del diseño ingenieril.

Variable	Valor	Unidades
T_{ce} : Temperatura aceite de motor en la entrada	78	°C
T_{cs} : Temperatura aceite de motor en la salida	66	°C
T_{fe} : Temperatura agua de proceso en la entrada	48	°C
T_{fs} : Temperatura agua de proceso en la salida	53,165	°C
ΔT_{mlog} : Diferencia de temperaturas media logarítmica	21,23	-
\dot{m} : Caudal másico de aceite de motor	8,092	kg/s
\dot{m} : Caudal másico de agua de proceso	9,43	kg/s
Potencia del regenerador sobredimensionada un 5%	213910	W
A : Área de transferencia de calor	34,84	m ²
U : Coeficiente global de transferencia de calor	295,02	W/m ² -K
F : Factor de corrección de la diferencia de temperaturas media logarítmica	0,98	-
Coeficiente P	0,17	-
Coeficiente R	2,32	-
D_e : Diámetro exterior de los tubos	26,9	mm
Espesor de los tubos	1,6	mm
D_i : Diámetro interior de los tubos	23,7	mm
L : Longitud de los tubos	24,63	m
L_{paso} : Longitud de los tubos por paso	4,10	m
p : Número de pasos por tubo	6	-
Número de pasos por carcasa	1	-
N_t : Número de tubos	114	-
N_{tpaso} : Número de tubos por paso	19	-
u_{1tubo} : velocidad del fluido en un tubo	0,57	m/s
A_e : Área exterior total de los tubos	61,05	m ²
R_{total} : Resistencia térmica total	9,73E-05	K/W
k : Conductividad térmica del acero inoxidable 316	13,4	W/m-K
St o Pt: Distancia entre centros de tubos	37,93	mm
Arreglo de tubos	triangular	-

3.14.2 Coeficiente de transferencia de calor en el flujo externo

Tabla 11. Resultados del cálculo del coeficiente de transferencia de calor en el flujo externo.

Variable	Valor	Unidades
Presión media del aceite de motor	450	kPa
Temperatura media del aceite de motor	72	°C
ρ_{oil} : Densidad media del aceite de motor	856,8	kg/m ³
μ_{oil} : Viscosidad dinámica del aceite de motor	4,41E-02	kg/m-s
Pr_{oil} : Número de Prandtl	663,4	-
k_{oil} : Conductividad térmica del aceite de motor	0,1396	W/m-K
cp_{oil} : Calor específico del aceite de motor	2,098	kJ/kg-K
As : Área de flujo cruzado para la fila de tubos central	0,020	m ²
ST o PT : Distancia entre centros de tubos	0,04	m
do : Diámetro exterior de los tubos	0,027	m
Ds : Diámetro interior de la carcasa	0,588	m
CTP	0,81	-
CL	0,87	-
PR : Relación de distancias entre ejes de tubos contiguos	1,41	-
AO : Área exterior de los tubos	61,05	m ²
IB : Espacio entre baffles	0,118	m
Gs : Densidad de flujo del fluido en la carcasa	402,85	kg/m ² -s
Ws : Caudal másico	8,09	kg/s
us : Velocidad del fluido en la carcasa	0,47	m/s
de : Diámetro equivalente de la carcasa para arreglo triangular	0,03	m
Re_s : Número de Reynolds en el interior de la carcasa	2,90E+02	
jh : Factor de fricción	0,029	-
Nus : Número de Nusselt	73,24	-
he o hs : Coeficiente de transmisión de calor exterior	322,61	W/m ² -K

3.14.3 Coeficiente de transferencia de calor en el flujo interno

Tabla 12. Resultados del cálculo del coeficiente de transferencia de calor en flujo interno

Variable	Valor	Unidades
Presión media del agua de proceso	400	kPa
Temperatura media del agua de proceso	51	°C
ρ_{water} : Densidad media del agua de proceso	987,70	kg/m ³
μ_{water} : Viscosidad dinámica del agua de proceso	5,38E-04	kg/m-s
Pr_{water} : Número de Prandtl	3,503	-
k_{water} : Conductividad térmica del agua de proceso	0,6419	W/m-K
cp_{water} : Calor específico del agua de proceso	4,181	kJ/kg-K
$\dot{m}_{1\text{tubo}}$: Flujo másico en el interior de un tubo	0,50	kg/s
$u_{1\text{tubo}}$: Velocidad del fluido en un tubo	0,57	m/s
Re_t : Número de Reynolds en el interior de los tubos	4,96E+04	-
Nu : Número de Nusselt	216,68	-
hi : Coeficiente de transmisión de calor interior	5868,70	W/m ² -K

3.14.4 Pérdida de carga

3.14.4.1 Pérdida de carga en los tubos

Tabla 13. Resultados de la pérdida de carga en los tubos.

Variable	Valor	Unidades
f : Factor de fricción	0,0058	-
p : Número de pasos por tubo	6	-
D_i : Diámetro interior de los tubos	23,7	mm
ρ_{water} : Densidad media del agua de proceso	987,7	kg/m ³
U_{max} : Velocidad máxima en los tubos	0,57	m/s
ΔP_t : Pérdida de caga total en los tubos	23192	Pa
ΔP_r : Pérdida de caga total en los tubos	3848	Pa
ΔP_{total} : Pérdida de caga total en los tubos	27039	Pa

3.14.4.2 Pérdida de carga en la carcasa

Tabla 14. Resultados de la pérdida de carga en la carcasa.

Variable	Valor	Unidades
j_f : Factor de fricción	0,1	-
D_s : Diámetro interior de la carcasa	0,59	m
d_e : Diámetro hidráulico o diámetro equivalente para arreglo triangular	0,03	m
L_{paso} : Longitud de los tubos por paso	4,10	m
IB : Espacio entre baffles	0,118	m
ΔP_s : Pérdida de caga total en la carcasa	49,07	kPa

3.14.5 Diseño mecánico

3.14.5.1 Tubos

Tabla 15. Resultados del diseño mecánico de los tubos.

Variable	Valor	Unidades
\dot{m}_{1tubo} : flujo másico en el interior de un tubo	0,50	kg/s
N_t : Número de tubos	114	
u_{1tubo} : Velocidad del fluido en un tubo	0,57	m/s
t_{min} : Espesor mínimo de los tubos	0,007	mm
$P_{diseño}$: Presión de diseño del intercambiador	450	kPa
S : Resistencia a la tensión del acero 316	860000	kPa
E : Factor de calidad	1	-
W : Factor junta	1	-
Y	0,4	-
D_i : Diámetro interior de los tubos	23,7	mm
Espesor de los tubos	1,6	mm
D_e : Diámetro exterior de los tubos	26,9	mm
L_{paso} : Longitud de los tubos por paso	4,10	m
L : Longitud de los tubos	24,63	m
p : Número de pasos por tubo	6	-
P : Peso por unidad de longitud de tubo	0,772	kg/m
St o Pt : Distancia entre centros de tubos	37,93	mm

3.14.5.2 Carcasa

Tabla 16. Resultados del diseño mecánico de la carcasa.

Variable	Valor	Unidades
D_s : Diámetro interior de la carcasa	587,70	mm
CL	0,87	-
PR : Relación de distancias entre ejes de tubos contiguos	1,41	-
D_e : Diámetro exterior de los tubos	26,9	mm
CTP	0,81	-
A_0 : Área exterior de los tubos	61,05	m ²
t_{min} : Espesor mínimo de la carcasa	9,5	mm
t_s : Espesor de la carcasa	9,5	mm
D_{i_s} : Diámetro interior de la carcasa	590,6	mm
D_{e_s} : Diámetro exterior de la carcasa	609,6	mm
P : Peso por unidad de longitud de carcasa	136,02	kg/m

3.14.5.3 Bidas

Tabla 17. Resultados del diseño mecánico de las bidas.

Variable	Valor	Unidades
Diámetro de la brida de conexión del cabezal frontal	230	mm
Velocidad del fluido en la entrada al cabezal frontal	1,16	m/s
Diámetro de la brida de conexión de la carcasa	230	mm
Velocidad del fluido en la entrada al cabezal frontal	1,20	m/s
Diámetro de la brida de la brida de unión	815	mm
Diámetro de la brida de la brida "tapa"	815	mm

3.14.5.4 Baffles

Tabla 18. Resultados del diseño mecánico de los baffles.

Variable	Valor	Unidades
Espesor de los baffles transversales	4,8	mm
Corte de los baffles (%)	25	-
D_a : Diámetro de los agujeros para los tubos	26,98	mm
D_b : Diámetro de los baffles	590,6	mm
N.º baffles	26	-
l_B	118	m

3.14.5.5 Placas de partición y barras de soporte

Tabla 19. Resultados del diseño mecánico de las placas de partición y de las barras de soporte.

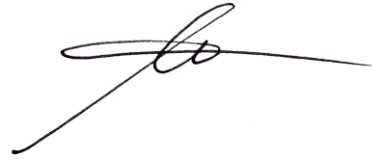
Variable	Valor	Unidades
$t_{mín}$: Espesor mínimo de la placa de separación	9,5	mm
t : Espesor de la placa de separación	13	mm
Número de placas de partición	7	-
Número de barras de soporte	6	-
$D_{mín}$: Diámetro mínimo de barras de soporte	9,5	mm
D : Diámetro de las barras de soporte	26,9	mm

3.14.5.6 Cabezales

Tabla 20. Resultados del diseño mecánico de los cabezales.

Variable	Valor	Unidades
$t_{mín}$: Espesor mínimo de la pared de los cabezales	4,27	mm
$t_{cabezal}$: Espesor de la pared de los cabezales	9,5	mm
d : Diámetro interno del cabezal	590,6	mm
C : Coeficiente de diseño de los cabezales	0,1	-
Presión de diseño de los cabezales	450	kPa
S : Resistencia a la tensión del acero 316	860000	kPa
E	1	-
$L_{mín}$: Longitud mínima del cabezal	36,90	mm
$L_{cabezal}$: Longitud del cabezal	500	mm
\dot{m} : Caudal másico de agua de proceso	9,43	kg/s
ρ_{tubos} : Densidad del agua de proceso	987,7	kg/m ³
u_{tubos} : Velocidad del agua de proceso	0,57	m/s
D_s : Diámetro de la carcasa	590,6	mm

En Ferrol, a diciembre de 2018.

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized 'B' followed by a horizontal line and a small loop.

Fdo.: Begoña Espiñeira Sicre



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO
CURSO 2018/19**

*DISEÑO INGENIERIL Y MECÁNICA DE
RECUPERADORES DE CALOR EN MOTOR
DIÉSEL PARA PLANTA DE COGENERACIÓN*

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

**ANEJO II: CÁLCULOS DEL INTERCAMBIADOR DE
CALOR DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL
AGUA**

Índice

1. Diseño ingenieril del regenerador	7
1.1 Cálculo del área de transferencia	8
1.2 Número de tubos	10
1.3 Longitud de los tubos	11
1.4 Cálculo del coeficiente transferencia de calor por convección en el flujo interno	11
1.5 Cálculo del coeficiente de transferencia de calor en el flujo externo	13
1.5.1 Método de Kern	13
2. Pérdida de carga	16
2.1 Pérdida de carga en los tubos	16
2.2 Pérdida de carga en la carcasa	17
3. Diseño mecánico	18
3.1 El código ASME	18
3.2 Las normas TEMA	18
3.3 Materiales	20
3.4 Tubos	21
3.4.1 Cálculo del diámetro	21
3.4.2 Cálculo del espesor mínimo	21
3.5 Patrón de tubos	22
3.6 Bridas	22
3.6.1 Bridas de unión	22
3.6.2 Bridas de conexión	24
3.6.3 Bridas tapa	25
3.6.4 Juntas	26
3.7 Diámetro de la carcasa	26
3.8 Baffles	27
3.8.1 Baffles transversales	27
3.9 Barras de soporte	28
3.10 Placa de separación	29
3.11 Cabezales	29
3.11.1 Longitud de los cabezales	29
3.11.2 Longitud del tubo de la brida	30
3.11.3 Cabezal frontal	30
3.11.4 Cabezal posterior	31
3.12 Placas de tubos	32
3.12.1 Placa frontal	32
3.12.2 Placa posterior	33
3.13 Soldaduras	33
3.14 Resultados	34
3.14.1 Diseño ingenieril del regenerador	34

Anejo II

Begoña Espiñeira Sicre

3.14.2 Coeficiente de transferencia de calor en el flujo externo	35
3.14.3 Coeficiente de transferencia de calor en el flujo interno	36
3.14.4 Pérdida de carga	37
3.14.5 Diseño mecánico	38

Índice de figuras

<i>Figura 1: Vista isométrica intercambiador agua-agua.</i>	7
<i>Figura 2: Gráfica factor de corrección de la diferencia de temperaturas media logarítmica para intercambiador de un paso por carcasa y número par de pasos por tubo.</i>	10
<i>Figura 3. Diámetro equivalente, áreas de sección transversal y perímetros.</i>	13
<i>Figura 4. Factores de transferencia de calor en el lado de la carcasa</i>	14
<i>Figura 5. Factores de fricción del lado de la carcasa.</i>	15
<i>Figura 6. Factores de fricción del lado del tubo.</i>	16
<i>Figura 7. Esquema intercambiador agua-agua.</i>	18
<i>Figura 8. Nomenclatura de los intercambiadores de calor de carcasa y tubos según las normas TEMA.</i>	19
<i>Figura 9. Nomenclatura de los intercambiadores de calor de carcasa y tubos según las normas TEMA.</i>	19
<i>Figura 10. Patrón de tubos triangular.</i>	22
<i>Figura 11. Plano perfil Brida Welding Neck Class 150 lbs.</i>	23
<i>Figura 12. Modelado Brida Welding Neck Class 150 lbs DN400.</i>	23
<i>Figura 13. Modelado Brida Welding Neck Class 150 lbs DN100</i>	24
<i>Figura 14. Modelado Brida Ciega Class 150 lbs.</i>	25
<i>Figura 15. Configuraciones de baffles transversales según las normas TEMA.</i>	27
<i>Figura 16. Modelado baffle transversal</i>	28
<i>Figura 17. Modelado cabezal frontal.</i>	30
<i>Figura 18. Modelado cabezal posterior.</i>	31
<i>Figura 19. Modelado placa de tubos frontal.</i>	32
<i>Figura 20. Modelado placa de tubos posterior.</i>	33

Índice de tablas

<i>Tabla 1. Composición química del acero 316.</i>	20
<i>Tabla 2. Propiedades mecánicas del acero inoxidable 316.</i>	20
<i>Tabla 3. Dimensiones Brida Welding Neck Class 150 lbs DN600 (mm).</i>	22
<i>Tabla 4. Dimensiones Brida Welding Neck Class 150 lbs DN100 (mm).</i>	24
<i>Tabla 5. Dimensiones Brida Ciega Class 150 lbs (mm).</i>	25
<i>Tabla 6. Valor de la constante CTP.</i>	26
<i>Tabla 7. Espesor de los baffles transversales.</i>	27
<i>Tabla 8. Dimensiones y número de barras de soporte según las normas TEMA.</i>	28
<i>Tabla 9. Espesor mínimo de las placas de separación según las normas TEMA.</i>	29
<i>Tabla 10. Resultados del diseño ingenieril.</i>	34
<i>Tabla 11. Resultados del cálculo del coeficiente de transferencia de calor en el flujo externo.</i>	35
<i>Tabla 12. Resultados del cálculo del coeficiente de transferencia de calor en flujo interno</i>	36
<i>Tabla 13. Resultados de la pérdida de carga en los tubos.</i>	37
<i>Tabla 14. Resultados de la pérdida de carga en la carcasa.</i>	37
<i>Tabla 15. Resultados del diseño mecánico de los tubos.</i>	38
<i>Tabla 16. Resultados del diseño mecánico de la carcasa.</i>	38
<i>Tabla 17. Resultados del diseño mecánico de las bridas.</i>	39
<i>Tabla 18. Resultados del diseño mecánico de los baffles.</i>	39
<i>Tabla 19. Resultados del diseño mecánico de las placas de partición y de las barras de soporte.</i>	39
<i>Tabla 20. Resultados del diseño mecánico de los cabezales.</i>	40

1. DISEÑO INGENIERIL DEL REGENERADOR

En este apartado se describe el proceso de cálculo del área de transferencia de calor del intercambiador, así como el número de tubos, la longitud y el diámetro de estos.

También se incluirá el cálculo de los coeficientes de transferencia de calor para el flujo interno y para el flujo externo.

El intercambiador de calor será de carcasa y tubos. Por él circulará el agua de refrigeración del motor por el interior de los tubos y por la carcasa circulará el agua de proceso que queremos calentar hasta los 60°C.

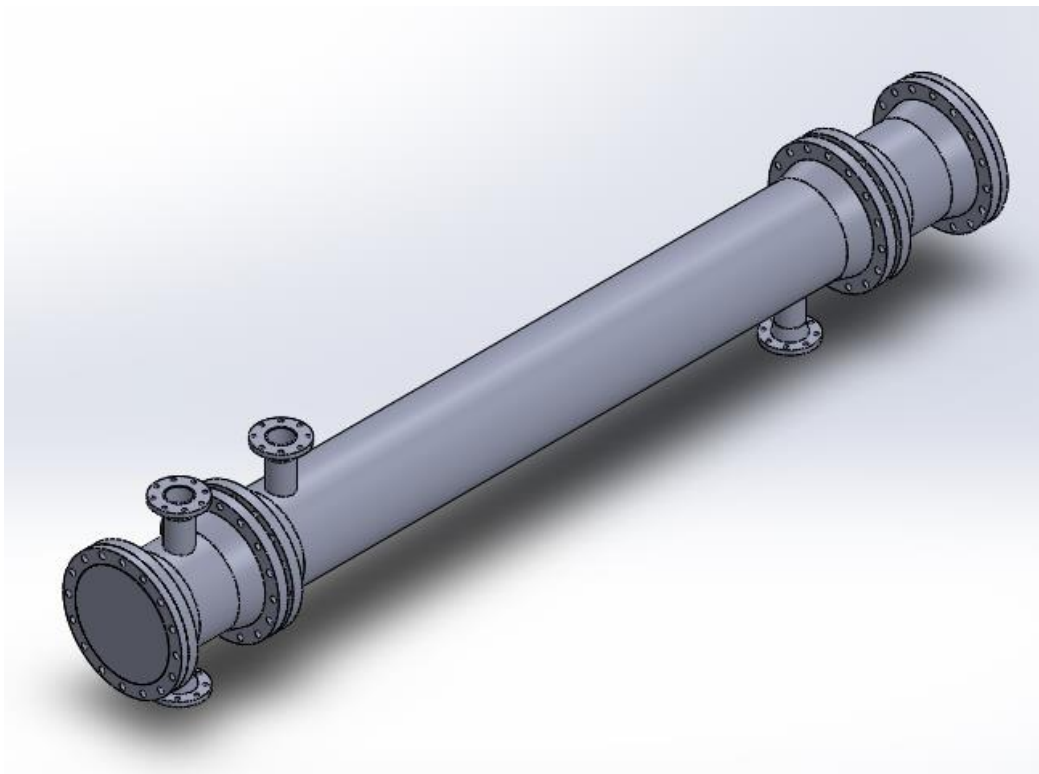


Figura 1: Vista isométrica intercambiador agua-agua.

1.1 Cálculo del área de transferencia

El área de transferencia de calor del evaporador se calculará por medio del método de la ΔT_{ml} .

Para utilizar este método previamente se requieren las temperaturas de ambos fluidos a la entrada y a la salida del intercambiador. Estas temperaturas se obtuvieron de la guía de producto del motor escogido, Wärtsilä 6L20. A partir de estas temperaturas se determinan las propiedades termodinámicas a las temperaturas promedio entre la entrada y la salida empleando del programa de cálculo EES.

Conocidas las temperaturas medias de cada fluido en la entrada y en la salida del intercambiador, se procede a determinar la diferencia de temperaturas media logarítmica utilizando la ecuación (1):

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_{ce} - T_{fs}) - (T_{cs} - T_{fe})}{\ln\left(\frac{T_{ce} - T_{fs}}{T_{cs} - T_{fe}}\right)} \quad (1)$$

Donde:

- ΔT_{ml} es la diferencia de temperaturas media logarítmica.
- T_{ce} es la temperatura del fluido caliente a la entrada.
- T_{cs} es la temperatura del fluido caliente a la salida.
- T_{fe} es la temperatura del fluido frío a la entrada.
- T_{fs} es la temperatura del fluido frío a la salida.

La potencia del recuperador se calcula a partir de la ecuación de diseño, ecuación (2):

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_{ml} \cdot F \quad (2)$$

Siendo:

- A el área total de intercambio de calor.
- Q la potencia del regenerador.
- U el coeficiente global de transferencia de calor.
- F el factor de corrección de la diferencia de temperaturas media logarítmica.

Para hallar el área de transferencia se sobredimensionará la potencia del intercambiador un 5%, con este sobredimensionando del recuperador se hace posible que éste trabaje en las condiciones óptimas incluso cuando su resistencia térmica se vea aumentada por causa de la suciedad acumulada en su interior.

El valor del coeficiente global de transferencia de calor no es conocido, por lo tanto, debemos utilizar un método iterativo para calcular el área de transferencia de calor. Para ello, aplicaremos un método para el que se

requieren las siguientes variables: número de tubos, longitud de los tubos y diámetro de los tubos.

Para poder determinar el área de transferencia se fija el valor de dos de las variables descritas. Una vez fijados estos valores, se supone un valor del coeficiente global de transferencia de calor (U). Se elige un valor bibliográfico de este para llevar a cabo el primer cálculo, obteniendo de esta forma una primera solución del área total de transferencia de calor. A partir de esta solución obtendremos un número de tubos y también obtendremos los coeficientes de transferencia de calor por convección para el flujo exterior e interior. Conocidos estos coeficientes, así como los diámetros de los tubos y el número de tubos, se podrá determinar la resistencia térmica total equivalente del circuito y por consiguiente un nuevo valor del coeficiente global de transferencia de calor con la ayuda de las ecuaciones (3) y (4):

$$R_{total} = \frac{1}{N\pi D_i h_i L} + \frac{R''_{fi}}{N\pi D_i L} + \frac{\ln(D_e/D_i)}{N2\pi k L} + \frac{R''_{fe}}{N\pi D_e L} + \frac{1}{N\pi D_e h_e L} \quad (3)$$

Donde:

- R_{total} es la resistencia térmica total del circuito.
- N es el número de tubos del intercambiador.
- D_i es el diámetro interior de los tubos.
- h_i es el coeficiente de convección del flujo interior.
- L es la longitud de los tubos
- R''_{fi} es la resistencia térmica de contacto debido a la suciedad de los tubos en el interior.
- k es el coeficiente de conducción del material (ACERO AISI 316)
- R''_{fe} es la resistencia térmica de contacto debido a la suciedad de los tubos en el exterior.
- D_e es el diámetro exterior de los tubos.
- h_e es el coeficiente de convección del flujo exterior.

$$\frac{1}{UA} = R_{total} \quad (4)$$

Donde:

- A es el área total de intercambio de calor.
- U es el coeficiente global de transferencia de calor.
- R_{total} es la resistencia térmica total del circuito.

Si el valor del coeficiente global de transferencia de calor hallado de esta forma no coincide con el supuesto, se repetirá el proceso descrito de forma

iterativa hasta que los valores calculados en una iteración coincidan con los hallados en la anterior.

El valor de "F" se obtiene entrando en la gráfica de la figura 2 con los valores de R y P, que se calculan mediante las ecuaciones (5) y (6) respectivamente.

$$R = \frac{(T_{ce} - T_{cs})}{(T_{fs} - T_{fe})} \quad (5)$$

$$P = \frac{(T_{fs} - T_{fe})}{(T_{ce} - T_{fe})} \quad (6)$$

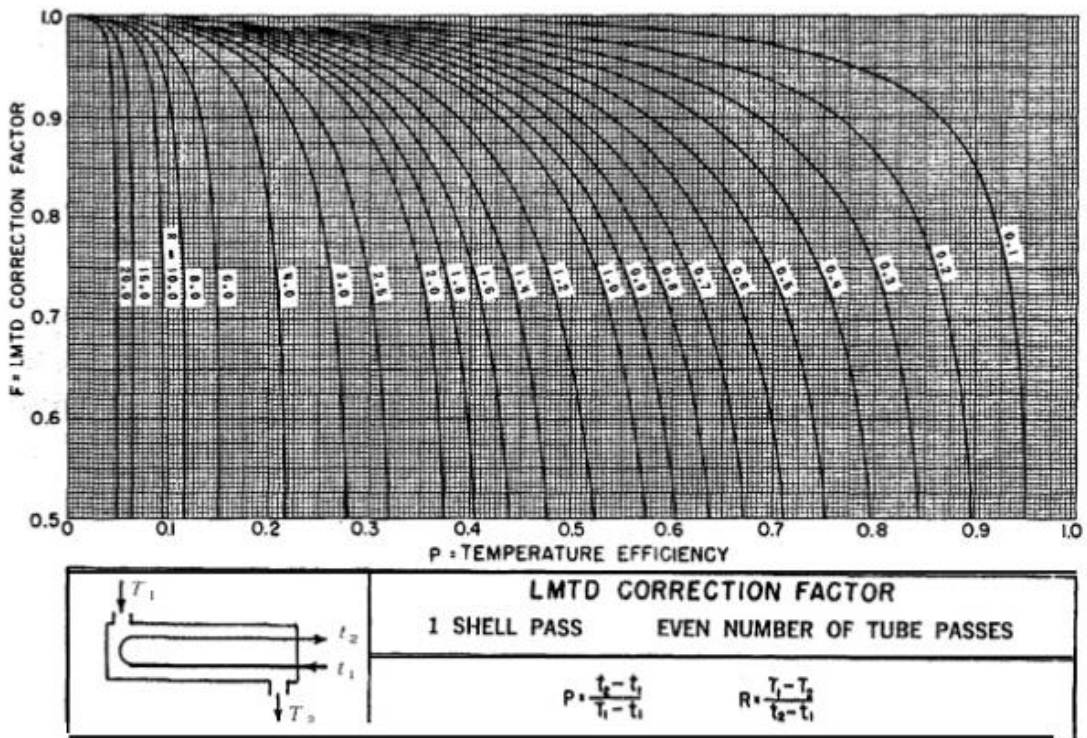


Figura 2: Gráfica factor de corrección de la diferencia de temperaturas media logarítmica para intercambiador de un paso por carcasa y número par de pasos por tubo.

1.2 Número de tubos

El número de tubos del intercambiador se determina a partir del área total de transferencia de calor (ecuación (7)) o bien podrá ser un valor fijado. En este caso, se fija la variable.

$$Nt = \frac{A}{A_{1tubo}} \quad (7)$$

Donde:

- A es el área total de transferencia de calor.
- A_{1tubo} es el área de la sección interior de un tubo.

El número de tubos por paso será:

$$Ntpaso = \frac{Nt}{p} \quad (8)$$

Siendo:

- p el número de pasos por tubo.
- $Ntpaso$ el número de tubos por paso.

Siendo el área de la sección interior de un tubo:

$$A_{1tubo} = \pi L D_i \quad (9)$$

1.3 Longitud de los tubos

La longitud de los tubos por paso viene determinada por la siguiente ecuación:

$$Lpaso = \frac{L}{p} \quad (10)$$

Siendo:

- $Lpaso$ la longitud del tubo por paso.
- p el número de pasos por tubo.

1.4 Cálculo del coeficiente transferencia de calor por convección en el flujo interno

Para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección se utiliza la siguiente ecuación:

$$Nu = \frac{h_i \cdot D_i}{k} \quad (11)$$

Siendo:

- Nu es el número de Nusselt.
- h_i es el coeficiente de transferencia de calor por convección del flujo interno.
- D_i es el diámetro interior del tubo.
- k es la conductividad térmica del fluido.

Para la determinación del valor del Nusselt se utiliza correlación de Dittus-Boelter dado que las condiciones de trabajo del evaporador en el flujo interno se encuentran entre los límites de dicha correlación:

$$Nu = 0.023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^n \quad (12)$$

Donde:

- Re : Número de Reynolds.
- Pr : Número de Prandtl

El parámetro n toma el valor de 0,4 ya que el fluido se calienta. Los valores del número de Prandtl, la conductividad térmica del fluido que circula por el interior de los tubos, la densidad y la viscosidad, se calculan por medio del software EES, utilizando los valores de la temperatura media de entrada y salida del agua de proceso y una presión media de 400 kPa.

El número de Reynolds se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{4 \cdot \dot{m}_{1tubo}}{\pi \cdot \mu \cdot D_i} \quad (13)$$

Donde:

- \dot{m}_{1tubo} es el caudal másico de agua de proceso que circula por un tubo.
- μ es la viscosidad dinámica del agua de proceso que circula por los tubos.
- D_i es el diámetro interior de los tubos.

Conocido el número de tubos, el número de pasos por tubo y el flujo másico total de agua de proceso, se calcula el flujo másico de agua por un tubo a partir de la siguiente expresión:

$$\dot{m}_{1tubo} = \frac{\dot{m}}{N_t} \cdot N_p \quad (14)$$

Donde:

- \dot{m}_{1tubo} es el caudal másico de agua de proceso que circula por un tubo.
- \dot{m} es el caudal másico de agua de proceso que circula por un tubo.
- N_t es el número de tubos.
- N_p es el número de pasos por tubo

1.5 Cálculo del coeficiente de transferencia de calor en el flujo externo

Se comienza calculando la velocidad del agua de refrigeración por la carcasa empleando la siguiente ecuación:

$$\dot{m} = u \cdot \rho \cdot S \quad (15)$$

Siendo:

- “ u ” la velocidad del agua de refrigeración en la carcasa.
- “ ρ ” la densidad del agua de refrigeración.
- “ S ” la sección de paso.

Para la determinación del coeficiente de transferencia de calor en el flujo externo se utiliza el Método de Kern.

1.5.1 Método de Kern

Este método se basa en el trabajo experimental en intercambiadores comerciales con tolerancias estándar y da una predicción razonablemente satisfactoria del coeficiente de transferencia de calor para los diseños estándar.

La transferencia de calor en el lado de la carcasa y los factores de fricción se correlacionan mediante el uso de una velocidad y un diámetro de cubierta hipotéticos. El diámetro equivalente de la carcasa se calcula utilizando el área de flujo entre los tubos tomados en la dirección axial (paralela a los tubos) y el perímetro de estos, ver Figura 3.

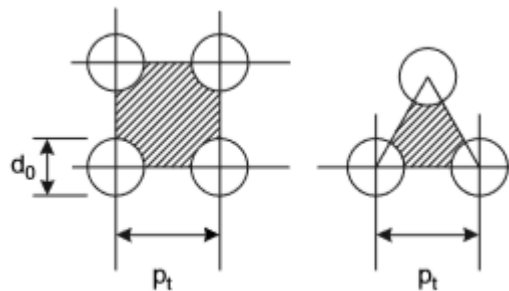


Figura 3. Diámetro equivalente, áreas de sección transversal y perímetros.

Los factores j_h y j_f del lado de la cubierta se dan en la figura 3 y 4, para varios cortes de baffle. El procedimiento para calcular el coeficiente de transferencia de calor en el lado de la carcasa se explica a continuación:

1. Se calcula el área de flujo cruzado A_s , dada por:

$$A_s = \frac{(p_t - d_o)D_s l_B}{p_t} \quad (15)$$

Donde:

- p_t es paso del tubo.
- d_o es el diámetro externo del tubo.
- D_s es el diámetro interno de la carcasa (m).

- l_B es el espacio entre baffles (m).
2. Se calcula el caudal másico del lado de la carcasa y la velocidad lineal:

$$G_s = \frac{W_s}{A_s} \quad (16)$$

$$u_s = \frac{G_s}{\rho} \quad (17)$$

Donde:

- W_s es el flujo másico por la carcasa (kg/s)
 - ρ densidad del fluido que circula por la carcasa (kg/m³)
3. Se calcula el diámetro equivalente de la carcasa o diámetro hidráulico. Para una disposición triangular:

$$d_e = \frac{1.10}{d_o} (p_t^2 - 0.917 d_o^2) \quad (18)$$

Donde d_e es el diámetro equivalente.

4. Se calcula el número de Reynolds en la carcasa.

$$Re = \frac{G_s d_e}{\mu} \quad (19)$$

5. Para el Reynolds calculado, buscamos el valor de j_h y de j_f para el corte de baffle y la disposición de tubos seleccionada en las Figuras 4 y 5.

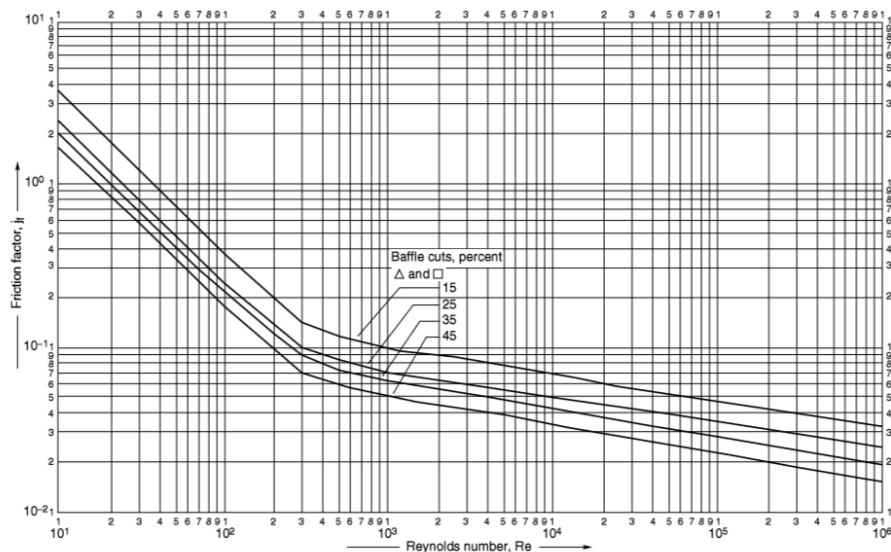


Figura 4. Factores de transferencia de calor en el lado de la carcasa

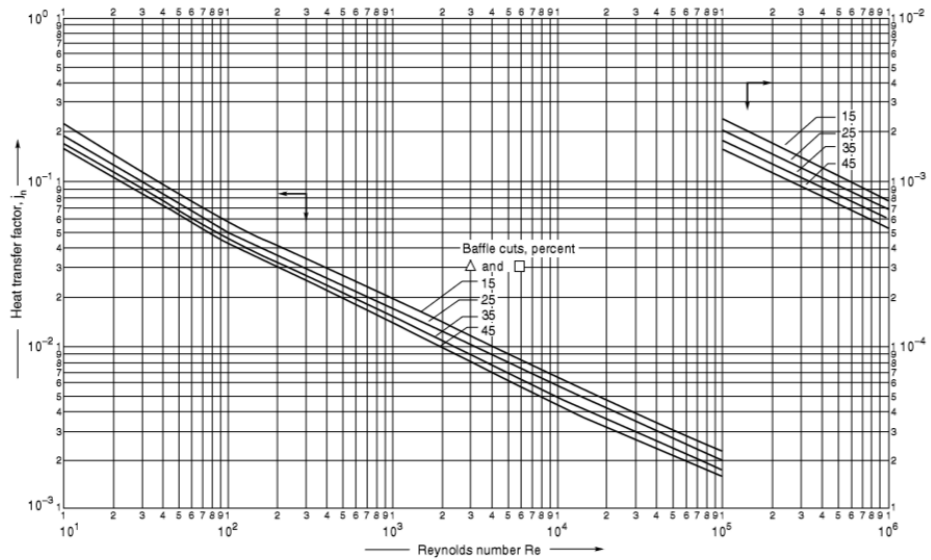


Figure 12.29. Shell-side heat-transfer factors, segmental baffles

Figura 5. Factores de fricción del lado de la carcasa.

6. Se calcula el coeficiente de transferencia de calor en el lado de la carcasa de la siguiente expresión:

$$Nu = \frac{h_s d_e}{k_f} = j_h Re Pr^{1/3} \quad (20)$$

7. Para el Reynolds calculado y con el factor j_f se calcula la caída de presión en la carcasa:

$$\Delta P_s = 8 j_f \left(\frac{D_s}{d_e} \right) \left(\frac{L}{l_B} \right) \frac{\rho u_s^2}{2} \quad (21)$$

2. PÉRDIDA DE CARGA

A continuación, se procede a determinar la pérdida de carga en la carcasa y en los tubos del recuperador de calor.

2.1 Pérdida de carga en los tubos

La pérdida de carga en los tubos se calcula mediante la ecuación (23):

$$\Delta P_t = 4 \cdot f \cdot \frac{L \cdot p}{D_i} \cdot \rho \cdot \frac{u_{max}^2}{2} \quad (22)$$

Donde:

- ΔP_t : Pérdida de carga en los tubos
- f : Factor de fricción.
- L : Longitud de los tubos.
- p : Número de pasos por tubo.
- D_i : Diámetro interior de los tubos.
- ρ : Densidad del agua de proceso.
- u_{max} : Velocidad máxima.

Siendo el factor de fricción el que se obtiene del diagrama de Moody para tubos lisos, entrando con el número de Reynolds en el interior de los tubos.

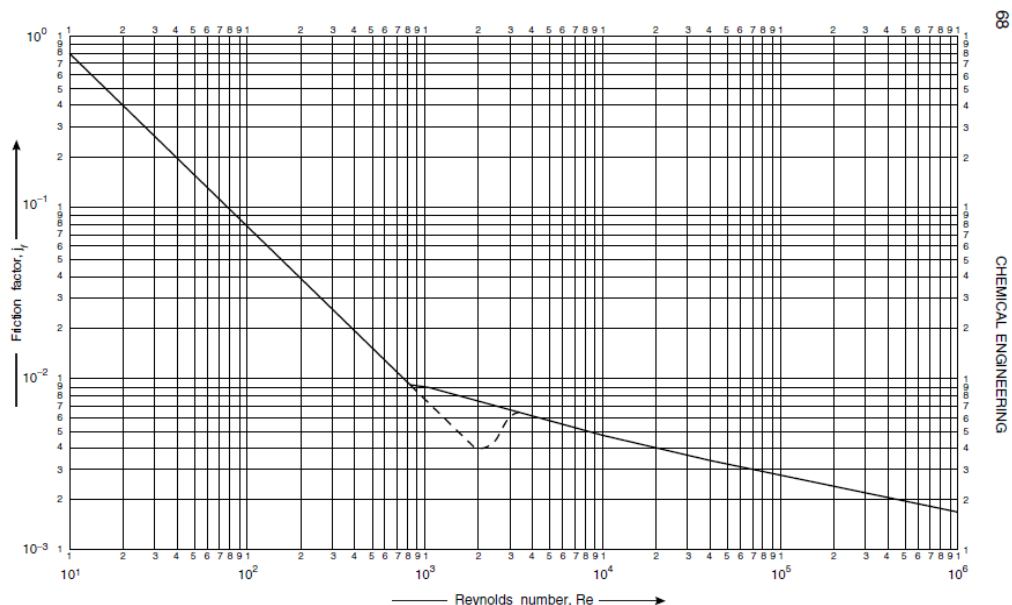


Figura 6. Factores de fricción del lado del tubo.

2.2 Pérdida de carga en la carcasa

La pérdida de carga en la carcasa se calcula mediante el Método de Kern, definido anteriormente. Se utiliza la ecuación (22)

3. DISEÑO MECÁNICO

En este apartado se procede a realizar el diseño mecánico del intercambiador de calor de carcasa y tubos, para esto se siguen las normas y recomendaciones presentes en el código ASME (American Society of Mechanical Engineers) así como en las normas TEMA (Tubular Exchanger Manufacturers Association).

3.1 El código ASME

El código ASME contiene directrices sobre el diseño, construcción, inspección y pruebas para equipos, calderas y recipientes a presión.

Se encuentra dividido en numerosas secciones, se han utilizado la sección VIII División 1 y la sección II parte D con el fin de realizar el diseño mecánico de este proyecto.

La sección VIII División 1 trata los siguientes aspectos: materiales, temperaturas máximas y mínimas, presiones de diseño, cargas y esfuerzos máximos admisibles del material, diseño a condiciones de presión interna y diseño a condiciones de presión externa entre otros.

La sección II parte D establece las propiedades y resistencias a la tensión de cada uno de los materiales.

3.2 Las normas TEMA

Las normas TEMA (Tubular Exchanger Manufacturers Association) recogen los estándares fijados por los fabricantes de intercambiadores de calor tubulares TEMA, estos estándares son seguidos en la mayor parte del mundo para su construcción y es aplicable a intercambiadores de calor de carcasa y tubos con un diámetro interior de carcasa máximo de 1524 mm, o una presión máxima de 207 bar.

Se encuentra dividido en 10 secciones, y hemos utilizado la mayor parte de ellas para la realización de este proyecto.

En esta norma en función de la forma del intercambiador, este tiene una nomenclatura que se define mediante tres letras. Cada una de estas letras define cómo es la forma del cabezal frontal, de la carcasa y del cabezal posterior, podemos observar las diferentes opciones en la Figura 8.

En nuestro caso, el intercambiador será del tipo AEA.

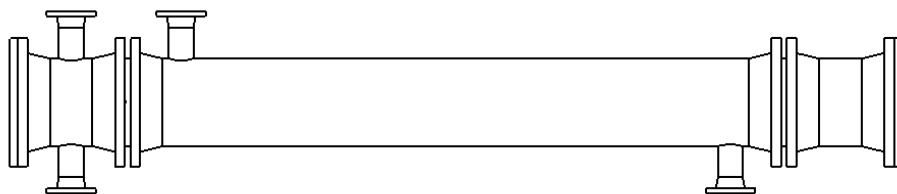


Figura 7. Esquema intercambiador agua-agua.

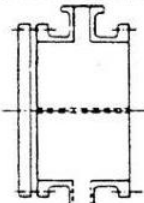
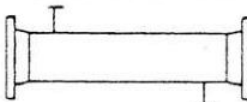
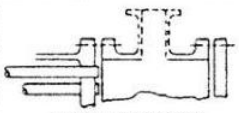
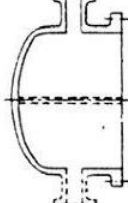
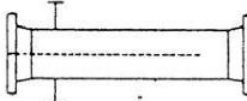
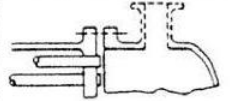
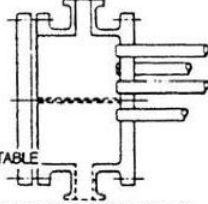
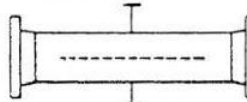
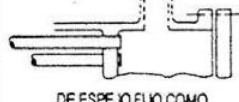
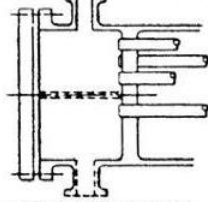
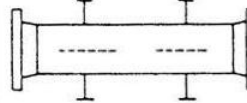
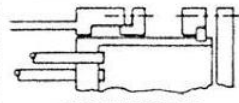
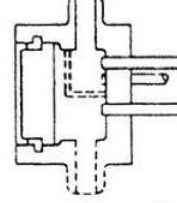
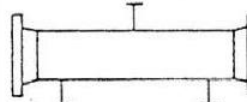

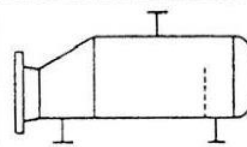
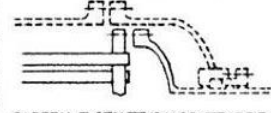
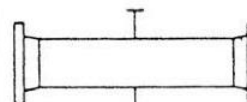
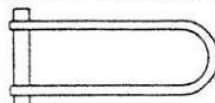
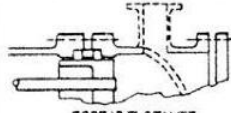
TIPOS DE CABEZAL ESTACIONARIO, EXTREMO FRONTAL		TIPOS DE CORAZAS		TIPOS DE CABEZALES, EXTREMO POSTERIOR	
A	 CANAL Y CUBIERTA DESMONTABLE	E	 CORAZA DE UN PASO	L	 DE ESPEJO FUJO COMO EL CABEZAL ESTACIONARIO "A"
B	 CASQUETE (CUBIERTA INTEGRADA)	F	 CORAZA DE DOS PASOS CON DEFLECTOR LONGITUDINAL	M	 DE ESPEJO FUJO COMO EL CABEZAL ESTACIONARIO "B"
C	 SOLO HAZ DE TUBOS DESMONTABLE CANAL INTEGRADO CON ESPEJO Y CUBIERTA DESMONTABLE	G	 DE FLUJO PARTIDO	N	 DE ESPEJO FUJO COMO EL CABEZAL ESTACIONARIO "N"
N	 CANAL INTEGRADO CON ESPEJO Y CUBIERTA DESMONTABLE	H	 DE FLUJO PARTIDO DOBLE	P	 CABEZAL FLOTANTE CON EMPAQUE EXTERIOR
D	 CIERRE ESPECIAL A ALTA PRESIÓN	J	 DE FLUJO DIVIDIDO	S	 CABEZAL FLOTANTE CON DISPOSITIVO DE APOYO
		K	 REHERVIDOR DE CALDERA	T	 CABEZAL FLOTANTE SIN CONTRABRIDA
		X	 FLUJO CRUZADO	U	 HAZ DE TUBO EN U
				W	 ESPEJO FLOTANTE SELLADO EXTERNAMENTE

Figura 8. Nomenclatura de los intercambiadores de calor de carcasa y tubos según las normas TEMA.

3.3 Materiales

El material utilizado para nuestro intercambiador de calor es acero inoxidable tipo 316. Se trata de un acero de cromo y níquel austenítico que contiene molibdeno, esta adición permite que aumente la resistencia a la corrosión del material, además de mejorar la resistencia a picaduras de soluciones de iones de cloruro. También proporciona mayor resistencia a altas temperaturas.

Las propiedades de este acero son similares del tipo 304, excepto porque esta aleación es un poco más sólida a temperaturas elevadas. La resistencia a la corrosión es mejor.

Los requerimientos de su composición química son los siguientes:

Tabla 1. Composición química del acero 316.

Elemento	Porcentaje (%)
Carbón	0,03 máximo
Manganeso	2,00 máximo
Fósforo	0,045 máximo
Azufre	0,030 máximo
Silicio	0,75 máximo
Cromo	16,00 a 18,00
Níquel	10,00 a 14,00
Nitrógeno	0,10 máximo
Molibdeno	2,00 a 3,00

Podemos ver las propiedades mecánicas del acero inoxidable 316 en la siguiente tabla:

Tabla 2. Propiedades mecánicas del acero inoxidable 316.

Propiedad	Acero Tipo 316
Resistencia a la tensión (MPa)	860
Elasticidad (%)	60
Módulo elástico (10^3 MPa)	210
Densidad (kg/m^3)	7960
Conductividad térmica a 23°C	163
Calor específico (J/kg-K)	502

3.4 Tubos

Las dimensiones de los tubos son definidas por el código ASME B36.19M

3.4.1 Cálculo del diámetro

Para la determinación del diámetro de los tubos se toma como criterio la velocidad máxima del fluido en el interior de estos. Se calcula el flujo másico que hay en un tubo como:

$$\dot{m}_{1tubo} = \frac{\dot{m}}{N_t} \cdot N_p \quad (23)$$

Donde:

- \dot{m}_{1tubo} es el caudal másico de agua de proceso que circula por un tubo.
- \dot{m} es el caudal másico de agua de proceso que circula por un tubo.
- N_t es el número de tubos.
- N_p es el número de pasos por tubo.

Determinado el caudal másico por un tubo, se procede a obtener el diámetro del tubo, teniendo en cuenta que la velocidad máxima del fluido por el interior de los tubos es de 2 m/s. Teniendo en cuenta estos factores, sacamos el diámetro interno a partir de la ecuación (25):

$$u = \frac{4 \cdot \dot{m}_{1tubo}}{\rho \cdot \pi \cdot D_i^2} \quad (24)$$

Donde:

- ρ es la densidad media del agua de proceso.
- u es la velocidad del agua de proceso.
- D_i es el diámetro interior de los tubos.

Una vez establecido el diámetro que cumple con las necesidades mecánicas y de velocidad, se escoge un diámetro de tubo comercial y se repiten las comprobaciones hasta encontrar uno que cumpla.

3.4.2 Cálculo del espesor mínimo

Se calcula el espesor mínimo siguiendo el código ASME para tuberías a presión, apartado B31.

$$t_{min} = \frac{P \cdot D}{2 \cdot (S \cdot E \cdot W + P \cdot Y)} \quad (25)$$

Siendo:

- P la presión de diseño en kPa.
- D el diámetro exterior en mm.
- S el valor del esfuerzo del material.
- E el factor de calidad.
- W el factor de reducción de la resistencia de la junta de la soldadura.
- Y el coeficiente que depende del material y de la temperatura de diseño.

El valor de S se obtiene de la tabla 2 y el valor de W es 1 ya que no está soldado.

Conocido el espesor mínimo, se selecciona un tubo con espesor mayor y que cumpla el criterio de velocidades.

3.5 Patrón de tubos

El patrón de tubos seleccionado para el presente proyecto es de distribución triangular a 60° .

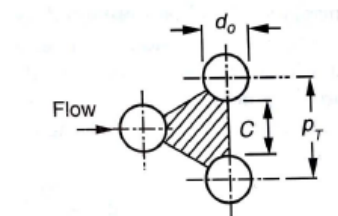


Figura 10. Patrón de tubos triangular.

La norma TEMA establece que la distancia entre centros de dos tubos ha de ser siempre mayor o igual a $6.4mm$ y mayor o igual a 1.25 veces el diámetro externo del tubo. Para este intercambiador se elige una distancia de 1.14 veces el diámetro externo de los tubos, cumpliendo ambos requisitos.

3.6 Bridas

Las bridas escogidas están diseñadas según las directrices aportadas por la norma ASME B16.5.

3.6.1 Bridas de unión

Se entiende por bridas de unión aquellas que se utiliza para unir el cabezal frontal y posterior a la carcasa, así como las bridas que unen la tapa al cabezal frontal.

Las bridas seleccionadas son tipo Welding Neck Class 150 lbs, según la norma ASME B16.5.

En este tipo de bridas el diámetro interior es especificado en base a las necesidades de diseño, siempre y cuando se mantenga un espesor mínimo de la brida, determinado en el catálogo.

Tabla 3. Dimensiones Brida Welding Neck Class 150 lbs DN600 (mm).

Tamaño nominal tubería	$\varnothing O$	$\varnothing tf$	$\varnothing X$	$\varnothing A$	$\varnothing Y$	$\varnothing R$	$\varnothing K$ centro tal.	N.º taladros	\varnothing tal. L	\varnothing Tornillo
16"(400)	595	35	457	406,4	125	469,9	539,8	16	28,575	25,4

El fabricante nos especifica las dimensiones de la brida con la ayuda de la tabla 3 y la figura 9, en la que se representa la brida en un plano con todas sus dimensiones.

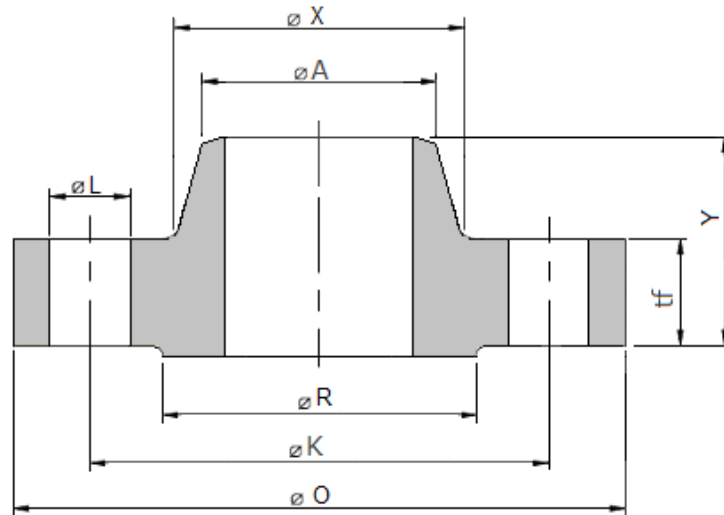
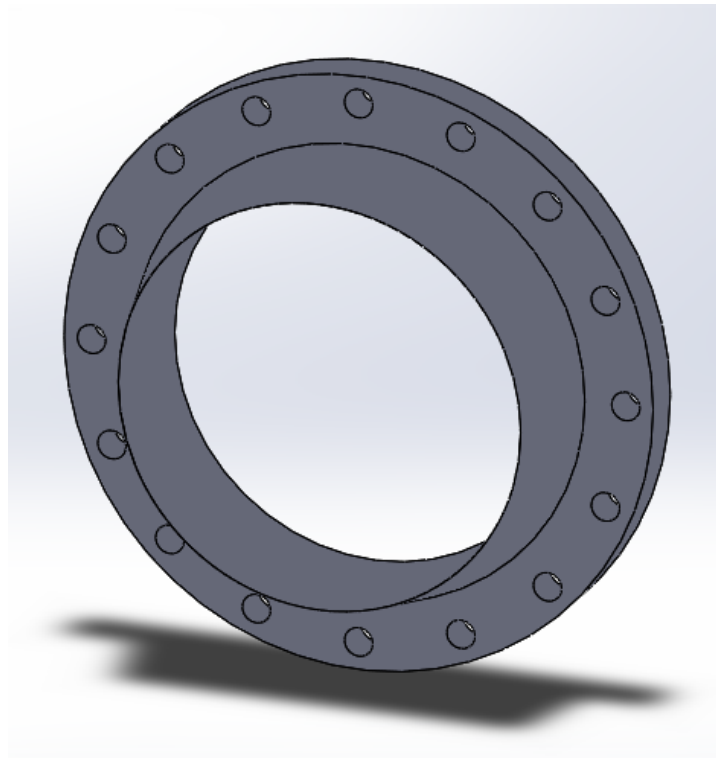


Figura 11. Plano perfil Brida Welding Neck Class 150 lbs.

A continuación, podemos ver el modelado 3D de la brida realizado para el ensamblaje del conjunto.



**Figura 12. Modelado Brida Welding Neck Class 150 lbs
DN400.**

3.6.2 Bridas de conexión

Las bridas de conexión son las bridas que unen los tubos de distribución a la carcasa y al cabezal frontal, por donde entran y salen los fluidos del intercambiador de calor de carcasa y tubos.

El criterio de selección de estas bridas será el cumplimiento de la velocidad máxima del fluido en su paso por las bridas. Esta velocidad podrá ser de máximo 2 m/s. Calculamos mediante la expresión 27 el diámetro interior necesario de la brida.

$$u = \frac{\dot{m}}{\rho \cdot \pi \cdot \frac{D_i^2}{4}} \quad (26)$$

Donde:

- u es la velocidad del fluido durante su paso por la brida.
- \dot{m} es el flujo másico del fluido.
- D_i es el diámetro interior de la brida.

Aplicando esta ecuación obtenemos una velocidad de 1,062 m/s y 1,17 m/s para un diámetro nominal de 100 mm. Por lo tanto, todas las bridas de conexión se escogen de diámetro nominal 100 mm.

Tabla 4. Dimensiones Brida Welding Neck Class 150 lbs DN100 (mm).

Tamaño nominal tubería	ØO	Ø tf	ØX	ØA	ØY	Ø R	Ø K centro tal.	N.º taladros	Ø tal. L	Ø Tornillo
4"(100)	230	22.3	135	114.3	75	157.2	190.5	8	19.05	15.875

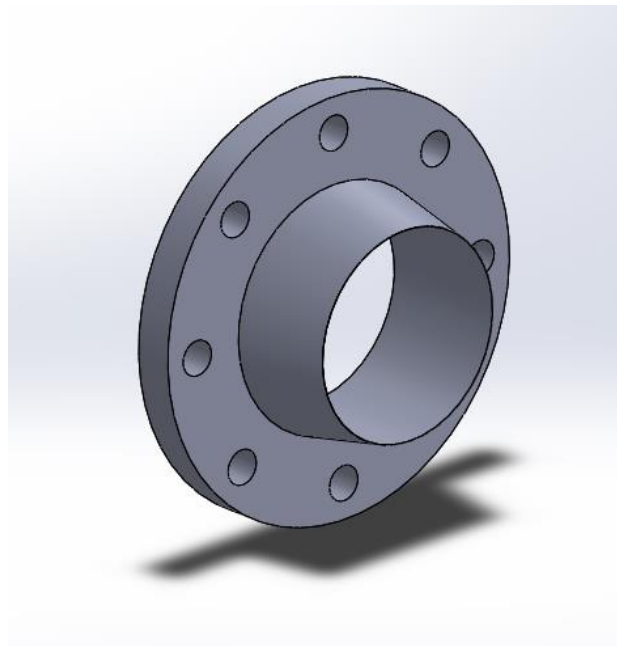


Figura 13. Modelado Brida Welding Neck Class 150 lbs DN100

Se seleccionan el mismo tipo de bridas, bridas Welding Neck Class 150 lbs, pero en este caso con un DN de 100 milímetros. Las dimensiones definidas por el fabricante se encuentran en la Tabla 4.

3.6.3 Bridas tapa

Estas bridas son las que cierran los extremos de los cabezales junto con las bridas de unión.

Estas bridas han de ser de las mismas dimensiones que las bridas de unión, pero la diferencia es que tienen que ser ciegas, de ahí su nomenclatura.

Se selecciona la Brida Ciega Class 150 lbs de acuerdo con la norma ASME B16.5.

Tabla 5. Dimensiones Brida Ciega Class 150 lbs (mm).

Tamaño nominal tubería	ØO	Ø tf	Ø R	Ø K centro tal.	N.º taladros	Ø tal. L	Ø Tornillo
16"(400)	595	35	469,9	539,8	16	28,575	25,4

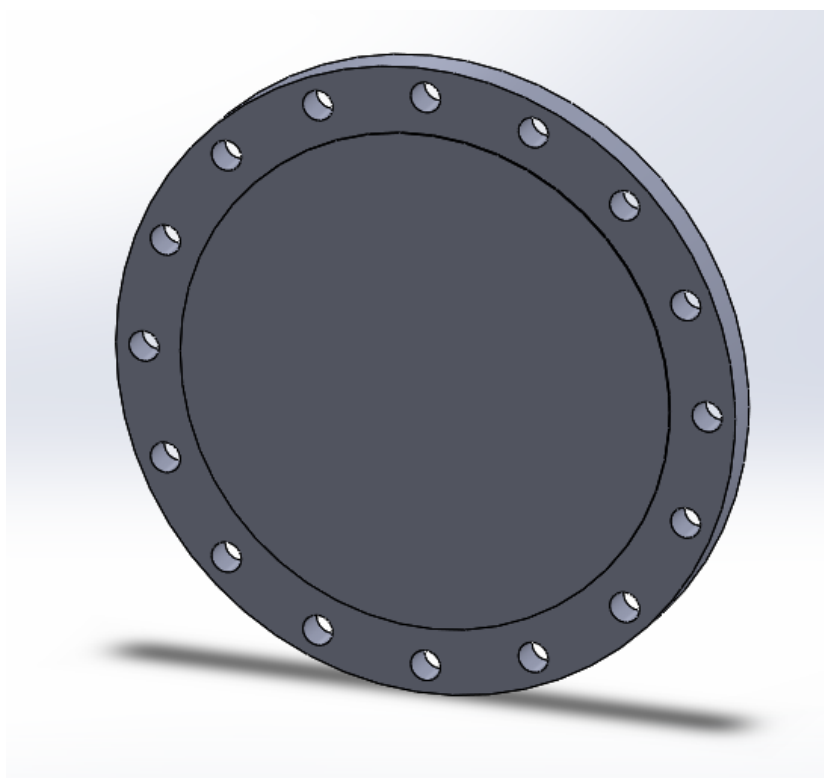


Figura 14. Modelado Brida Ciega Class 150 lbs.

3.6.4 Juntas

Se seleccionan juntas comerciales tipo DURLON FGM316 de acuerdo con la norma ASTM F38.

Estas juntas están formadas por una capa de grafito flexible impermeable unida por medio de un adhesivo a múltiples núcleos de acero 316 de 0.004" de espesor.

3.7 Diámetro de la carcasa

El diámetro de la carcasa se calcula mediante la siguiente expresión:

$$D_s = 0,637 \cdot \sqrt{\frac{CL}{CTP}} \cdot \left(\frac{A_o \cdot (PR)^2 \cdot D_e}{L} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (27)$$

Siendo:

- D_s el diámetro interior de la carcasa.
- CL la constante de la disposición de los tubos.
- CTP constante según la Tabla 6
- A_o el área exterior de los tubos.
- PR la relación de distancias entre ejes de tubos contiguos.
- D_e el diámetro exterior de los tubos.
- L la longitud de los tubos.

Además:

$$PR = \frac{P_T}{D_e} \quad (28)$$

CTP es una constante que se incluye en la ecuación para tener en cuenta que no toda la carcasa está cubierta por tubos. El valor de CTP viene indicado en la Tabla 6:

Tabla 6. Valor de la constante CTP.

Número de pasos por tubo	CTP
1	0,93
2	0,9
3	0,85
4	0,813

El valor de CL depende de la disposición de los tubos. El valor es 1 si están orientados a 90 o 45° y es 0,87 si están orientados a 30 o 60°.

3.8 Baffles

3.8.1 Baffles transversales

El diseño de los baffles transversales se realiza siguiendo las indicaciones propuestas por las normas TEMA. Las principales configuraciones son las indicadas en la Figura 15.

Para el intercambiador se selecciona un tipo de baffles vertical. Dado que la longitud de tubo sin soportar es mayor a 914 mm y el diámetro exterior de los tubos es inferior a 31.8mm los agujeros para los tubos tendrán que ser 008 mm mayores que el diámetro exterior de los tubos.

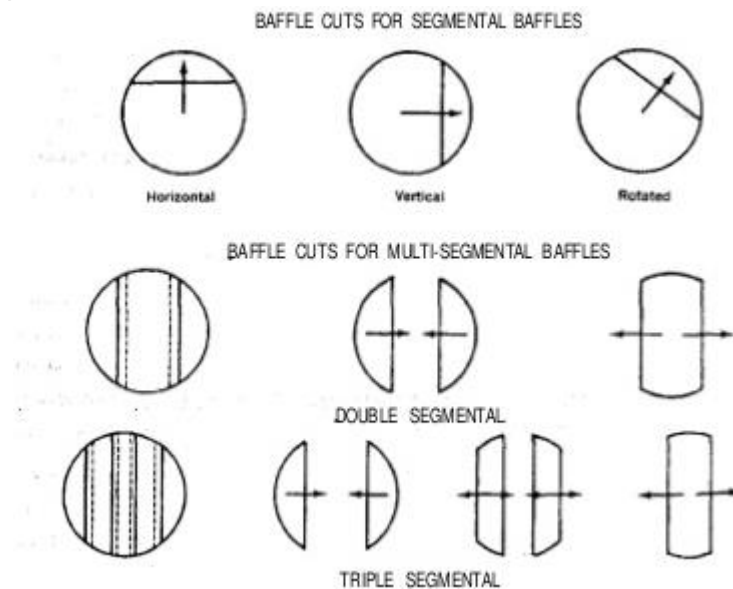


Figura 15. Configuraciones de baffles transversales según las normas TEMA.

El espesor de los baffles se determina por medio de la Tabla 7.

Tabla 7. Espesor de los baffles transversales.

Nominal Shell ID	Plate Thickness				
	Unsupported tube length between central baffles. End spaces between tubesheets and baffles are not a consideration.				
	24 (610) and Under	Over 24 (610) to 36 (914) Inclusive	Over 36 (914) to 48 (1219) Inclusive	Over 46 (1219) to 60 (1524) Inclusive	Over 60 (1524)
6 - 14 (152-356)	1/8 (3.2)	3/16 (4.8)	1/4 (6.4)	3/8 (9.5)	3/8 (9.5)
15 - 28 (381-711)	3/16 (4.8)	1/4 (6.4)	3/8 (9.5)	3/8 (9.5)	1/2 (12.7)
29 - 38 (737-965)	1/4 (6.4)	5/16 (7.5)	3/8 (9.5)	1/2 (12.7)	5/8 (15.9)
39 - 60 (991-1524)	1/4 (6.4)	3/8 (9.5)	1/2 (12.7)	5/8 (15.9)	5/8 (15.9)
61 - 100 (1549-2540)	3/8 (9.5)	1/2 (12.7)	5/8 (15.9)	3/4 (19.1)	3/4 (19.1)

En nuestro caso los baffles tendrán un corte del 25% y un espesor de 12,7 mm. Podemos observar el baffle diseñado en la Figura 16.

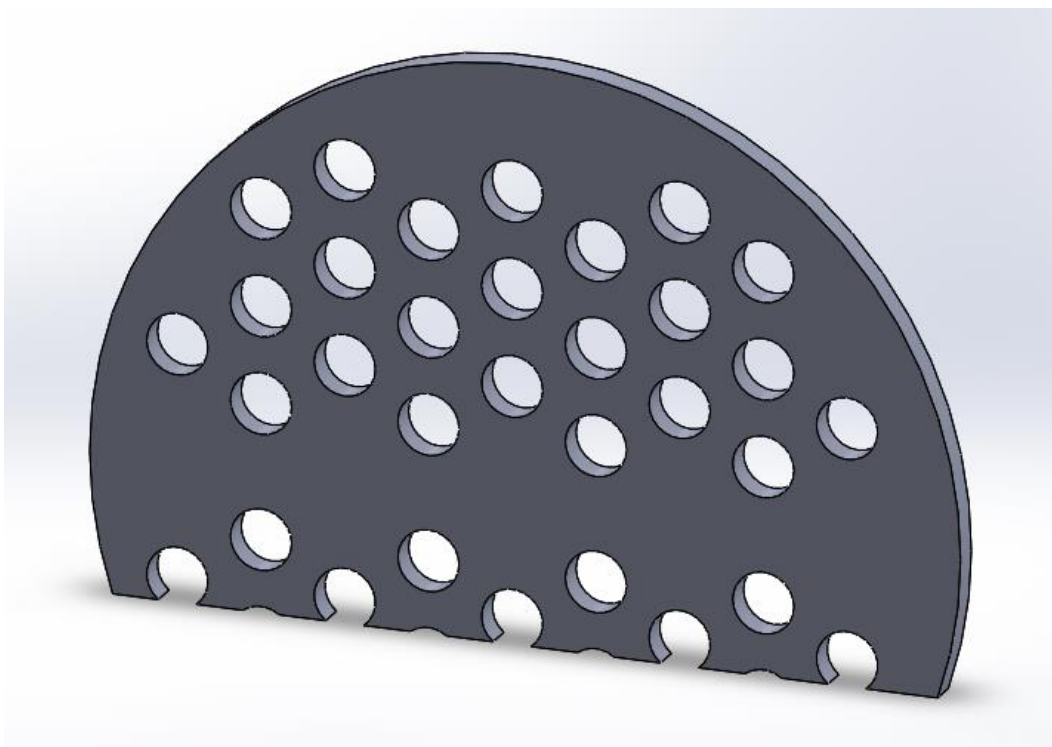


Figura 16. Modelado baffle transversal

3.9 Barras de soporte

Las barras de soporte se dimensionan según la siguiente tabla proporcionada por las normas TEMA.

Tabla 8. Dimensiones y número de barras de soporte según las normas TEMA.

Nominal Shell Diameter		Tie Rod Diameter	Minimum Number of Tie Rods
6 - 15	(152-381)	3/8 (9.5)	4
16 - 27	(406-686)	3/8 (9.5)	6
28 - 33	(711-838)	1/2 (12.7)	6
34 - 48	(864-1219)	1/2 (12.7)	8
49 - 60	(1245-1524)	1/2 (12.7)	10
61-100	(1549-2540)	5/8 (15.9)	12

No obstante, la norma TEMA permite además otras combinaciones de número de barras de soporte y diámetros siempre y cuando estas no tengan un diámetro menor de 9,5 mm y no sean menos de 4.

3.10 Placa de separación

El espesor mínimo de las placas de separación se calcula mediante la siguiente tabla:

Tabla 9. Espesor mínimo de las placas de separación según las normas TEMA.

Nominal Size	Carbon Steel	Alloy Material
Less than 24 (610)	3/8 (9.5)	1/4 (6.4)
24 to 60 (610-1524)	1/2 (12.7)	3/8 (9.5)
61 to 100 (1549-2540)	5/8 (15.9)	1/2 (12.7)

3.11 Cabezales

En el intercambiador hay dos cabezales, uno frontal y otro posterior. Estos cabezales se diseñan según las normas TEMA.

El espesor mínimo de los cabezales se determina por la ecuación 30. Los dos cabezales han de tener este espesor mínimo según las normas TEMA.

$$t_{\min} = d \cdot \sqrt{\frac{C \cdot P}{S \cdot E}} \quad (29)$$

Siendo:

- d el diámetro interno del cabezal.
- C el coeficiente
- P la presión de diseño.
- S la resistencia a la tensión del acero inoxidable 316.
- E la eficiencia de la junta.

3.11.1 Longitud de los cabezales

La longitud de los cabezales viene determinada por la ecuación 31.

$$L_{\text{cabezal}} = 1.3 \cdot \frac{\frac{\dot{m}}{u \cdot \rho}}{D_s} \quad (30)$$

Siendo:

- L_{cabezal} la longitud mínima del cabezal.
- \dot{m} el flujo másico que circula por los tubos.
- u la velocidad del fluido que circula por los tubos.
- ρ la densidad del fluido que circula por los tubos.
- D_s el diámetro de la carcasa.

En este proyecto la longitud mínima es inferior al ancho de las bridas, por esto se cogerá una distancia mayor al ancho de estas.

3.11.2 Longitud del tubo de la brida

Se calcula esta longitud de forma que tengamos espacio suficiente entre la brida y la carcasa o el cabezal para poder introducir herramientas en dicho espacio y facilitar el atornillado de los pernos.

La ecuación que define esta longitud es la siguiente:

$$\frac{L_{brida}}{D_{brida}} = 2 \quad (31)$$

Donde:

- L_{brida} es la distancia que hay entre la brida y la carcasa.
- D_{brida} es el diámetro interior de la brida.

3.11.3 Cabezal frontal

Podemos observar el cabezal frontal de este intercambiador en la Figura 17.

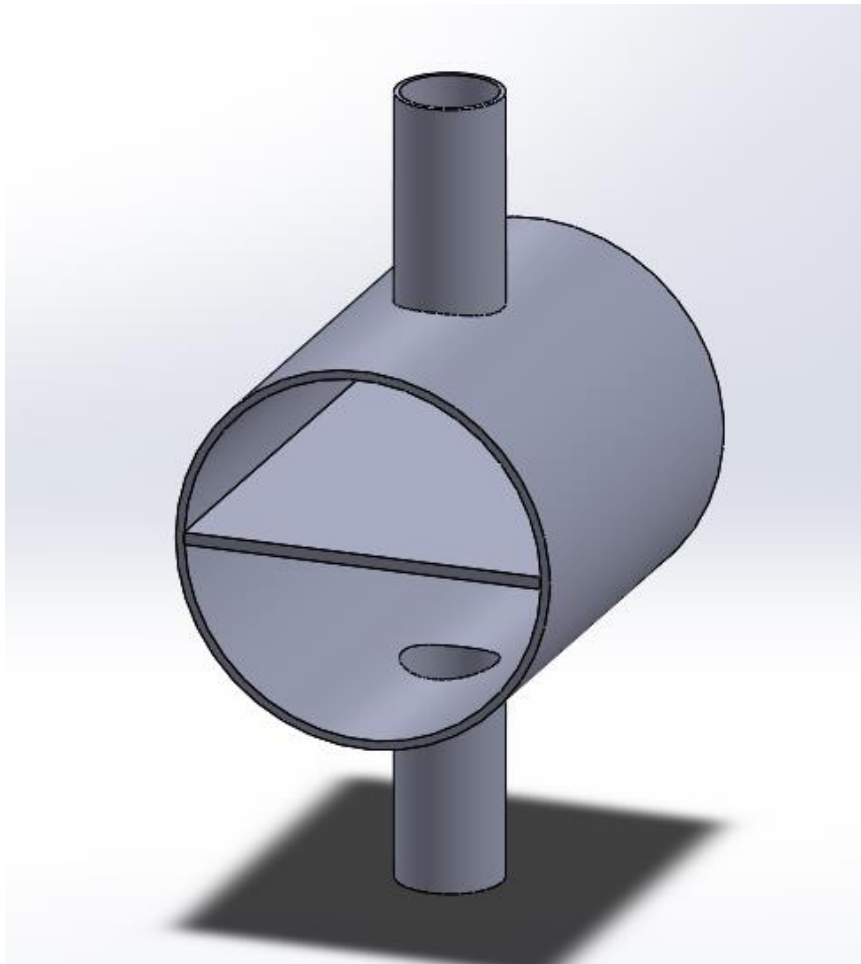


Figura 17. Modelado cabezal frontal.

3.11.4 Cabezal posterior

Podemos observar el cabezal posterior de este intercambiador en la Figura 18.

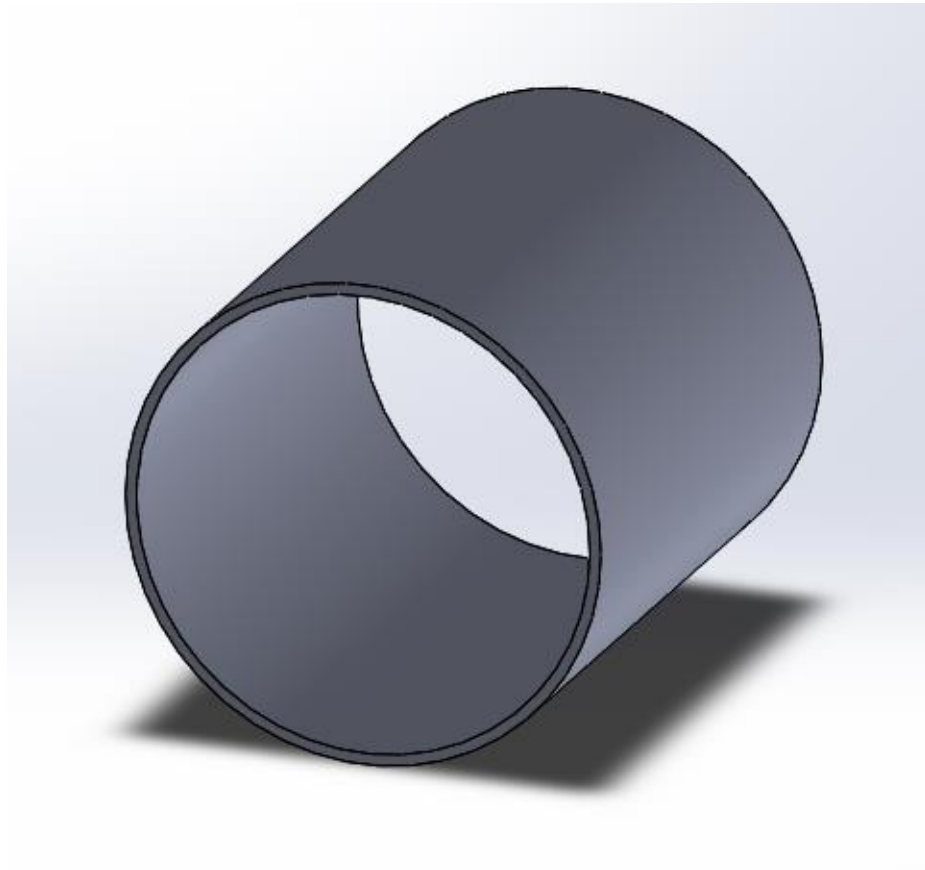


Figura 18. Modelado cabezal posterior.

3.12 Placas de tubos

El diseño mecánico de las placas de tubos se realiza según las normas TEMA. El espesor mínimo de la placa de tubos debe ser al menos 19,1 milímetros. En este proyecto las placas de tubos tienen un espesor de una pulgada.

3.12.1 Placa frontal

Podemos ver representada la placa frontal de este intercambiador en la Figura 19.

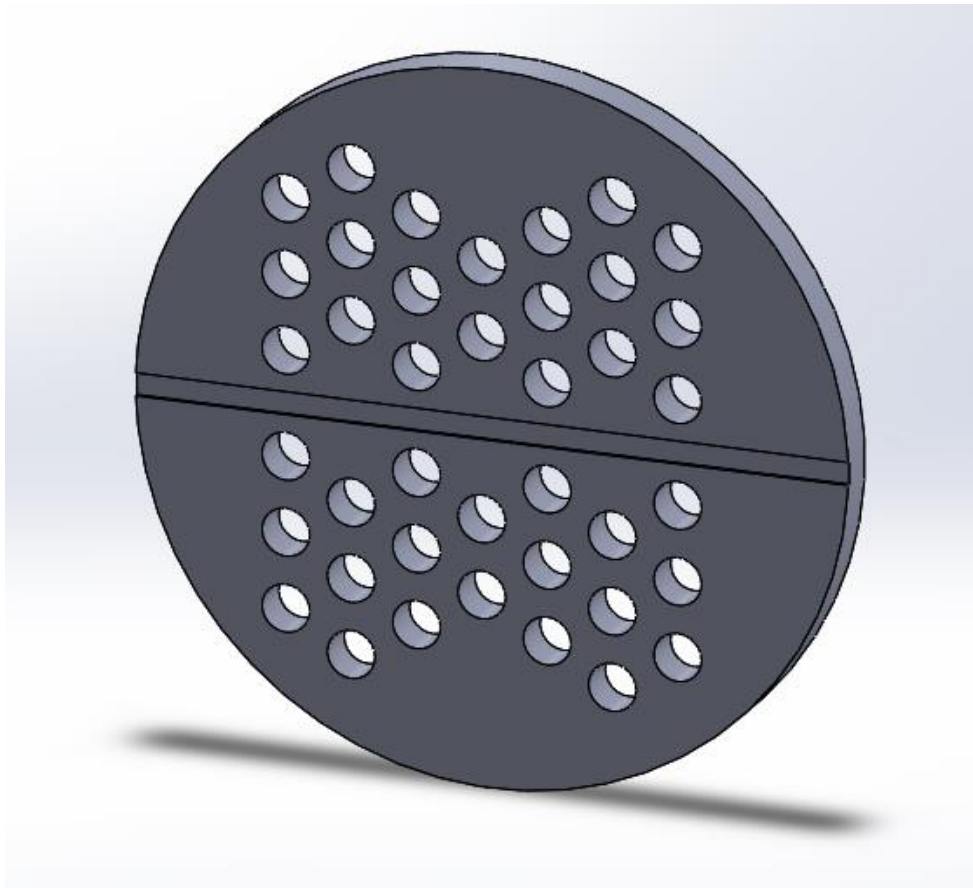


Figura 19. Modelado placa de tubos frontal.

Podemos observar que la placa tiene unas ranuras para colocar las placas de separación. En la zona posterior, la placa contiene unos agujeros para introducir las barras de soporte.

3.12.2 Placa posterior

Podemos observar la placa posterior de este intercambiador en la Figura 20.

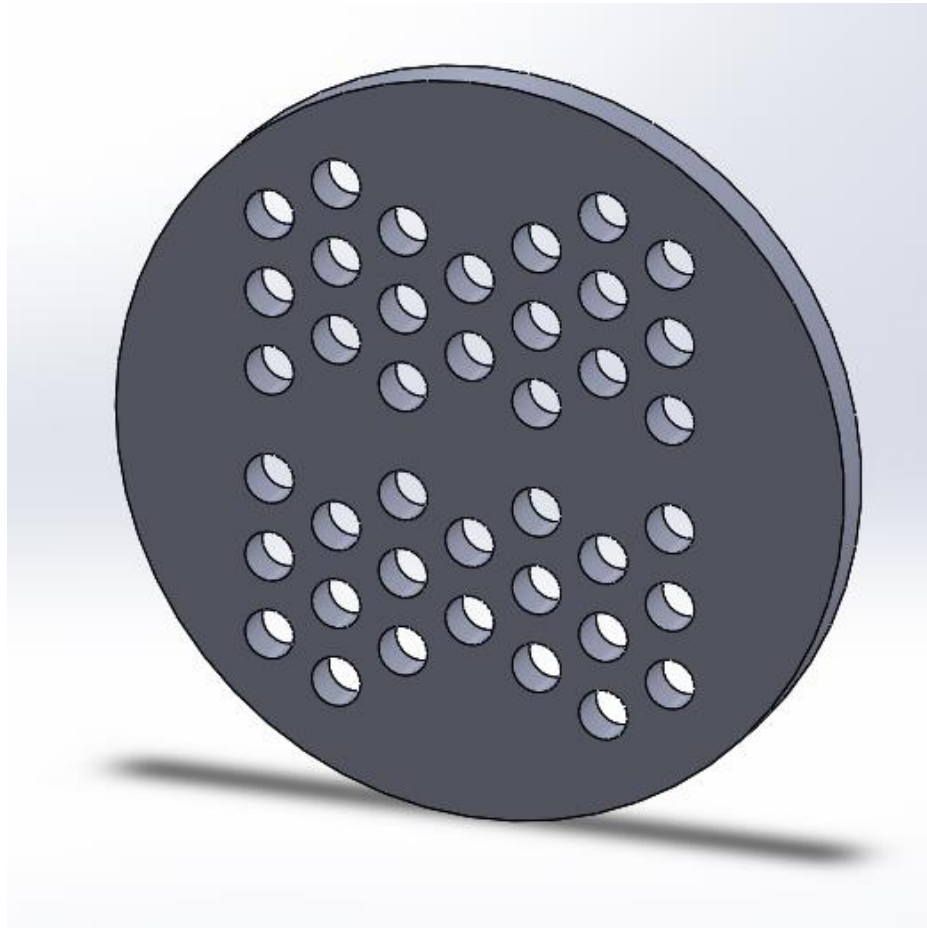


Figura 20. Modelado placa de tubos posterior.

3.13 Soldaduras

Las soldaduras se llevan a cabo por arco manual con electrodo revestido o SMAW (Shielded Metal Arc Welding), para acero inoxidable 316.

El material de aportación es acero inoxidable 316.

3.14 Resultados

3.14.1 Diseño ingenieril del regenerador

Tabla 10. Resultados del diseño ingenieril.

Variable	Valor	Unidades
T_{ce} : Temperatura aceite de motor en la entrada	91	°C
T_{cs} : Temperatura aceite de motor en la salida	83	°C
T_{fe} : Temperatura agua de proceso en la entrada	53,165	°C
T_{fs} : Temperatura agua de proceso en la salida	60,000	°C
ΔT_{mlog} : Diferencia de temperaturas media logarítmica	30,41	-
\dot{m} : Caudal másico de aceite de motor	8,062	kg/s
\dot{m} : Caudal másico de agua de proceso	9,48	kg/s
Potencia del regenerador sobredimensionada un 5%	284551	W
A : Área de transferencia de calor	9,02	m ²
U : Coeficiente global de transferencia de calor	1058,73	W/m ² -K
F : Factor de corrección de la diferencia de temperaturas media logarítmica	0,98	-
Coeficiente P	0,18	-
Coeficiente R	1,17	-
D_e : Diámetro exterior de los tubos	26,9	mm
Espesor de los tubos	1,6	mm
D_i : Diámetro interior de los tubos	23,7	mm
L : Longitud de los tubos	6,06	m
L_{paso} : Longitud de los tubos por paso	3,03	m
p : Número de pasos por tubo	2	-
Número de pasos por carcasa	1	-
N_t : Número de tubos	40	-
N_{tpaso} : Número de tubos por paso	20	-
u_{1tubo} : velocidad del fluido en un tubo	0,55	m/s
A_e : Área exterior total de los tubos	14,84	m ²
R_{total} : Resistencia térmica total	1,05E-04	K/W
k : Conductividad térmica del acero inoxidable 316	13,4	W/m-K
St o Pt: Distancia entre centros de tubos	43,04	mm
Arreglo de tubos	triangular	-

3.14.2 Coeficiente de transferencia de calor en el flujo externo

Tabla 11. Resultados del cálculo del coeficiente de transferencia de calor en el flujo externo.

Variable	Valor	Unidades
Presión media del aceite de motor	400	kPa
Temperatura media del aceite de motor	87	°C
ρ_{oil} : Densidad media del aceite de motor	967,4	kg/m ³
μ_{oil} : Viscosidad dinámica del aceite de motor	3,26E-04	kg/m-s
Pr_{oil} : Número de Prandtl	2,038	-
k_{oil} : Conductividad térmica del aceite de motor	0,6714	W/m-K
cp_{oil} : Calor específico del aceite de motor	4,202	kJ/kg-K
As : Área de flujo cruzado para la fila de tubos central	0,011	m ²
ST o PT : Distancia entre centros de tubos	0,04	m
do : Diámetro exterior de los tubos	0,027	m
Ds : Diámetro interior de la carcasa	0,383	m
CTP	0,81	-
CL	0,87	-
PR : Relación de distancias entre ejes de tubos contiguos	1,6	-
AO : Área exterior de los tubos	14,84	m ²
IB : Espacio entre baffles	0,077	m
Gs : Densidad de flujo del fluido en la carcasa	733,39	kg/m ² -s
Ws : Caudal másico	8,06	kg/s
us : Velocidad del fluido en la carcasa	0,76	m/s
de : Diámetro equivalente de la carcasa para arreglo triangular	0,05	m
Re_s : Número de Reynolds en el interior de la carcasa	1,10E+05	
jh : Factor de fricción	0,0016	-
Nus : Número de Nusselt	222,14	-
he o hs : Coeficiente de transmisión de calor exterior	3067,74	W/m ² -K

3.14.3 Coeficiente de transferencia de calor en el flujo interno

Tabla 12. Resultados del cálculo del coeficiente de transferencia de calor en flujo interno

Variable	Valor	Unidades
Presión media del agua de proceso	400	kPa
Temperatura media del agua de proceso	57	°C
ρ_{water} : Densidad media del agua de proceso	984,80	kg/m ³
μ_{water} : Viscosidad dinámica del agua de proceso	4,88E-04	kg/m-s
Pr _{water} : Número de Prandtl	3,152	-
k_{water} : Conductividad térmica del agua de proceso	0,6482	W/m-K
cp_{water} : Calor específico del agua de proceso	4,183	kJ/kg-K
$\dot{m}_{1\text{tubo}}$: Flujo másico en el interior de un tubo	0,47	kg/s
$u_{1\text{tubo}}$: Velocidad del fluido en un tubo	0,55	m/s
Re _t : Número de Reynolds en el interior de los tubos	5,21E+04	-
Nu: Número de Nusselt	216,19	-
hi: Coeficiente de transmisión de calor interior	5912,94	W/m ² -K

3.14.4 Pérdida de carga

3.14.4.1 Pérdida de carga en los tubos

Tabla 13. Resultados de la pérdida de carga en los tubos.

Variable	Valor	Unidades
f : Factor de fricción	0,0058	-
p : Número de pasos por tubo	2	-
D_i : Diámetro interior de los tubos	23,7	mm
ρ_{water} : Densidad media del agua de proceso	984,8	kg/m ³
U_{max} : Velocidad máxima en los tubos	0,55	m/s
ΔP_t : Pérdida de caga total en los tubos	1737	Pa
ΔP_r : Pérdida de caga total en los tubos	1172	Pa
ΔP_{total} : Pérdida de caga total en los tubos	2909	Pa

3.14.4.2 Pérdida de carga en la carcasa

Tabla 14. Resultados de la pérdida de carga en la carcasa.

Variable	Valor	Unidades
jf : Factor de fricción	0,029	-
D_s : Diámetro interior de la carcasa	0,38	m
d_e : Diámetro hidráulico o diámetro equivalente para arreglo triangular	0,05	m
L_{paso} : Longitud de los tubos por paso	3,03	m
IB : Espacio entre baffles	0,077	m
ΔP_s : Pérdida de caga total en la carcasa	20,08	kPa

3.14.5 Diseño mecánico

3.14.5.1 Tubos

Tabla 15. Resultados del diseño mecánico de los tubos.

Variable	Valor	Unidades
\dot{m}_{1tubo} : flujo másico en el interior de un tubo	0,47	kg/s
N_t : Número de tubos	40	
u_{1tubo} : Velocidad del fluido en un tubo	0,55	m/s
t_{min} : Espesor mínimo de los tubos	0,007	mm
$P_{diseño}$: Presión de diseño del intercambiador	400	kPa
S: Resistencia a la tensión del acero 316	860000	kPa
E: Factor de calidad	1	-
W: Factor junta	1	-
Y	0,4	-
D_i : Diámetro interior de los tubos	23,7	mm
Espesor de los tubos	1,6	mm
D_e : Diámetro exterior de los tubos	26,9	mm
L_{paso} : Longitud de los tubos por paso	3,03	m
L: Longitud de los tubos	6,06	m
p: Número de pasos por tubo	2	-
P: Peso por unidad de longitud de tubo	0,772	kg/m
St ó Pt: Distancia entre centros de tubos	43,04	mm

3.14.5.2 Carcasa

Tabla 16. Resultados del diseño mecánico de la carcasa.

Variable	Valor	Unidades
D_s : Diámetro interior de la carcasa	382,84	mm
CL	0,87	-
PR: Relación de distancias entre ejes de tubos contiguos	1,6	-
D_e : Diámetro exterior de los tubos	26,9	mm
CTP	0,81	-
A0: Área exterior de los tubos	14,84	m ²
$t_{mín}$: Espesor mínimo de la carcasa	9,5	mm
ts: Espesor de la carcasa	9,5	mm
D_{i_s} : Diámetro interior de la carcasa	387,4	mm
D_{e_s} : Diámetro exterior de la carcasa	406,4	mm
P: Peso por unidad de longitud de carcasa	61,62	kg/m

3.14.5.3 Bridas

Tabla 17. Resultados del diseño mecánico de las bridas.

Variable	Valor	Unidades
Diámetro de la brida de conexión del cabezal frontal	230	mm
Velocidad del agua de refrigeración líquido en la entrada al cabezal frontal	1,17	m/s
Diámetro de la brida de conexión de la carcasa	230	mm
Velocidad del agua de refrigeración en la entrada al cabezal frontal	1,06	m/s
Diámetro de la brida de la brida de unión	595	mm
Diámetro de la brida de la brida "tapa"	595	mm

3.14.5.4 Baffles

Tabla 18. Resultados del diseño mecánico de los baffles.

Variable	Valor	Unidades
Espesor de los baffles transversales	4,8	mm
Corte de los baffles (%)	25	-
D_a : Diámetro de los agujeros para los tubos	26,98	mm
D_b : Diámetro de los baffles	387,4	mm
Nº baffles	44	-
IB	43	m

3.14.5.5 Placas de separación y barras de soporte

Tabla 19. Resultados del diseño mecánico de las placas de partición y de las barras de soporte.

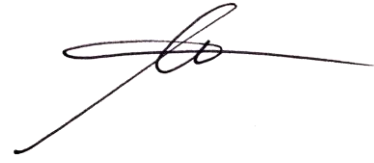
Variable	Valor	Unidades
$t_{mín}$: Espesor mínimo de la placa de separación	9,5	mm
t : Espesor de la placa de separación	13	mm
Número de placas de partición	7	-
Número de barras de soporte	6	-
$D_{mín}$: Diámetro mínimo de barras de soporte	9,5	mm
D : Diámetro de las barras de soporte	26,9	mm

3.14.5.6 Cabezales

Tabla 20. Resultados del diseño mecánico de los cabezales.

Variable	Valor	Unidades
$t_{mín}$: Espesor mínimo de la pared de los cabezales	4,27	mm
$t_{cabezal}$: Espesor de la pared de los cabezales	9,5	mm
d : Diámetro interno del cabezal	590,6	mm
C : Coeficiente de diseño de los cabezales	0,1	-
Presión de diseño de los cabezales	450	kPa
S : Resistencia a la tensión del acero 316	860000	kPa
E	1	-
$L_{mín}$: Longitud mínima del cabezal	36,90	mm
$L_{cabezal}$: Longitud del cabezal	500	mm
\dot{m} : Caudal másico de agua de proceso	9,43	kg/s
ρ_{tubos} : Densidad del agua de proceso	987,7	kg/m ³
u_{tubos} : Velocidad del agua de proceso	0,57	m/s
D_s : Diámetro de la carcasa	387,4	mm

En Ferrol, a diciembre de 2018.

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized 'B' followed by a horizontal line and a small loop.

Fdo.: Begoña Espiñeira Sicre



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO
CURSO 2018/19**

*DISEÑO INGENIERIL Y MECÁNICA DE
RECUPERADORES DE CALOR EN MOTOR
DIÉSEL PARA PLANTA DE COGENERACIÓN*

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

**ANEJO III: ESTUDIO BÁSICO DE SEGURIDAD Y SALUD
EN LAS OBRAS**

Índice

1. Justificación del E.B.S.S.O.	4
2. Objeto	5
3. Contenido del E.B.S.S.O.	6
4. Actuaciones previas	7
5. Riesgos laborales evitables	8
6. Medios de protección	9
6.1 Protecciones individuales	9
6.2 Protecciones colectivas	9
7. Puesta en obra de los elementos de protección	11
8. Revisiones de los elementos de protección	12
9. Análisis y prevención de riesgos catastróficos	13
10. Instalaciones provisionales de obra	14
10.1 Instalación contra incendios	14
10.2 Instalación eléctrica provisional	14
11. Riesgos derivados del emplazamiento de la obra y medidas de protección	16
12. Formación	17
13. Principios generales aplicables durante la ejecución de la obra	18
14. Disposiciones mínimas de seguridad y salud que deberán aplicarse durante la obra	19
15. Servicios de higiene y prevención	20
15.1 Botiquín	20
15.2 Vigilante de seguridad	20

1. JUSTIFICACIÓN DEL E.B.S.S.O.

El real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción, establece en el Artículo 4, apartado 2, que en los proyectos de obra no incluidos en los supuestos previstos en el apartado 1 del mismo Artículo, el promotor estará obligado a que en la fase de redacción del proyecto se elabore un Estudio Básico de Seguridad y Salud.

Por lo tanto, es necesario comprobar que se cumplen los siguientes supuestos:

1. Que el presupuesto de ejecución por contrata incluido en el proyecto sea igual o superior a 75 millones de pesetas (450.759,08 €). **En el presente proyecto, el presupuesto es menor de la cantidad especificada**

2. Que la duración estimada sea superior a 30 días laborables, empleándose en algún momento a más de 20 trabajadores simultáneamente. **La duración será de 90 días laborables, pero en ningún momento se superará la cantidad de 20 trabajadores.**

3. Que el volumen de mano de obra estimada, entendiendo por tal la suma de los días de trabajo del total de los trabajadores en la obra, sea superior a 500. **El número de trabajadores será menor que 500**

4. Las obras de túneles, galerías, conducciones subterráneas y presas. **No se trata de una obra de ninguno de los tipos señalados.**

Como no se da ninguno de los supuestos previstos en el apartado 1 del artículo 4 del R.D.1627/1997, se redacta el presente ESTUDIO BÁSICO DE SEGURIDAD Y SALUD.

2. OBJETO

Este estudio Básico de Seguridad y Salud establece, durante la construcción de esta obra, las previsiones respecto a prevención de riesgos de accidentes y enfermedades profesionales, así como los derivados de los trabajos de reparación, conservación, entretenimiento y mantenimiento, y las instalaciones preceptivas de higiene y bienestar de los trabajadores.

Servirá para dar unas directrices básicas a la/s empresa/s contratista/s para llevar a cabo sus obligaciones en el campo de la prevención de riesgos profesionales, facilitando su desarrollo, bajo el control de la Dirección Facultativa, de acuerdo con el Real Decreto 1627/ 1997 de 24 de Octubre, por el que se regulan las Disposiciones Mínimas de Seguridad y Salud en las Obras de Construcción.

Este Estudio se redacta considerando los riesgos detectables a surgir en el transcurso de esta obra. Otros riesgos no incluidos que pudieran surgir deberán ser estudiados en el “Plan de Seguridad y Salud” que el Contratista debe presentar para su aprobación por la Dirección Facultativa, antes del comienzo de los trabajos.

3. CONTENIDO DEL E.B.S.S.O.

El Estudio Básico de Seguridad y Salud precisa las normas de seguridad y salud aplicables a la obra, contemplando la identificación de los riesgos laborales que puedan ser evitados, indicando las medidas técnicas necesarias para ello, así como la relación de los riesgos laborales que no puedan eliminarse, especificando las medidas preventivas y protecciones técnicas tendentes a controlar y reducir dichos riesgos y valorando su eficacia, en especial cuando se propongan medidas alternativas, además de cualquier otro tipo de actividad que se lleve a cabo en la misma.

En el Estudio Básico de Seguridad y Salud se contemplan también las previsiones y las informaciones útiles para efectuar en su día, en las debidas condiciones de seguridad y salud, los previsibles trabajos posteriores de reparación o mantenimiento, siempre dentro del marco de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales.

4. ACTUACIONES PREVIAS

Para evitar el acceso a personas ajenas a la obra y, en consecuencia, evitar posibles accidentes de estas, se vallará la zona de obras.

En el vallado de la Obra, se realizarán accesos diferentes para trabajadores y para camiones y maquinaria. En este último se colocarán señales normalizadas de limitación de velocidad y “peligro salida de camiones”.

Se dispondrá en obra, para proporcionar, en cada caso, el equipo indispensable al operario, de una previsión de palancas, cuñas, barras, puntales, picos, tablones, bridas, cables terminales, gazas o ganchos, y lonas o plásticos, y otros medios que puedan servir para eventualidades o socorrer a los trabajadores que puedan accidentarse.

5. RIESGOS LABORABLES EVITABLES

Teniendo en cuenta la tipología de la obra a realizar y considerando los datos característicos que condicionan la obra, en relación con su localización, emplazamiento, condiciones climáticas, urbanas, geológicas, etc., los riesgos generales previsibles durante los trabajos son los habituales en este tipo de obras y consisten en esquema:

En el montaje de intercambiadores de calor

- Golpes de o contra objetos
- Cortes, pinchazos y golpes con maquinaria, herramientas y materiales
- Caídas del personal a nivel o de altura, caídas al agua
- Proyección de partículas a los ojos
- Atrapamientos
- Electrocutión, quemaduras.
- Trabajos realizados bajo condiciones meteorológicas adversas.

Riesgos eléctricos

- Contacto con líneas eléctricas. Electrocutión, quemaduras
- Derivados de máquinas e instalaciones eléctricas de obra

Riesgo de incendios

- En almacenes, oficinas y en campo
- En vehículos
- En instalaciones eléctricas
- En encofrados o acopios de madera
- En depósitos de combustible

Para la prevención de los riesgos citados los responsables de cada unidad de obra cumplirán y harán cumplir a los trabajadores las Normas básicas de seguridad colectiva y Normas de comportamiento para la prevención de accidentes que se recogen en los Anejos de este estudio de Seguridad y Salud.

Riesgos de daños a terceros:

- Atropellos.
- Incendios.
- Los derivados de la intromisión de terceras personas en el recinto de obra.
- Salida de vehículos y maquinaria a las vías públicas.
- Tráfico rodado en las proximidades.

6. MEDIOS DE PROTECCIÓN

6.1 Protecciones individuales

- **CASCO:** Será obligatorio su uso dentro del recinto de la obra para todas las personas que estén vinculadas a la obra y también para aquéllas que ocasionalmente estén en ella, tales como técnicos, mandos intermedios, trabajadores y visitas. Se preverá un acopio en obra en cantidad suficiente.
- **BOTAS:** Se dotará de las mismas a los trabajadores cuando el estado del terreno lo aconseje, serán altas e impermeables y cuando haya riesgo de caída de objetos pesados, serán con puntera reforzada y si hay posibilidad de pinchazos, estarán dotadas de plantilla metálica.
- **TRAJES DE AGUA:** Se proporcionará a cada trabajador un traje de agua para tiempo lluvioso cuando el estado del tiempo lo requiera.
- **CINTURÓN DE SEGURIDAD:** será obligatoria su utilización cuando se realicen trabajos en altura con riesgo, sin protección colectiva. Se amarrará a elementos fijos de manera que la caída libre no exceda de un metro.
- **GAFAS:** Si existe riesgo de proyección de partículas o polvo a los ojos, se protegerá a los trabajadores con gafas adecuadas que impidan las lesiones oculares.
- **GUANTES:** Se utilizarán en los trabajos con riesgo de heridas en las manos, alergias, edemas, etc.
- **MASCARILLAS:** Se utilizarán mascarillas antipolvo para los trabajos en los que se manejen sierras de corte circular, corte de piezas cerámicas o similares y, en general, en todo tipo de trabajo donde exista riesgo de ambientes pulverulentos.
- **MONO DE TRABAJO:** Se dotará a cada trabajador de un mono de trabajo y se tendrá en cuenta las reposiciones a lo largo de la obra según Convenio Colectivo.
- **VARIOS:** Se emplearán otras protecciones individuales, siempre que lo exijan las condiciones de trabajo, tales como mandiles de cuero, guantes dieléctricos, pantalla de soldador, botas aislantes, etc. Y cualquier otra no enumerada en este apartado, siempre que las condiciones de seguridad lo requieran.

6.2 Protecciones colectivas

- **Señalización general** Se instalarán los siguientes carteles indicativos de:
 - PROHIBIDO EL PASO A TODA PERSONA AJENA A LA OBRA.
 - USO OBLIGATORIO DEL CASCO.
 - ENTRADA Y SALIDA DE VEHÍCULOS.Se colocarán carteles indicativos de riesgos inherentes a cada tajo. Se dispondrá señal informativa para la localización del botiquín y extintores. Existirá acopio suficiente de cinta de balizamiento.
- **Zonas de paso y limpieza de obra** Cuando hubiese zonas con obstáculos y dificultades de paso, por las que tengan que circular

trabajadores, se establecerán zonas de paso limpias de obstáculos y claramente visibles y señalizadas. En general se procurará mantener la obra limpia de obstáculos, estando los materiales almacenados ordenadamente.

- Dispositivos de seguridad Todas las máquinas eléctricas o con parte eléctrica, se protegerán con tomas de tierra con una resistencia máxima de 10 ohmios, y protección diferencial individual. De existir relé diferencial, la toma de tierra tendrá una resistencia tal que la tensión de contacto no sea superior a 24 voltios.
- Elementos de protección colectiva o Andamios metálicos tubulares o Escaleras de mano o Puntales o Vallas o Cadenas o Eslingas o Elementos de anclaje o Pórtico limitador de gálibo

7. PUESTA EN OBRA DE LOS ELEMENTOS DE PROTECCIÓN

Los elementos de protección colectivos e individuales deberán estar disponibles en la obra con antelación al momento en que sea necesaria su utilización.

El planning de obra servirá para conocer el momento del inicio de los trabajos y por tanto el momento de necesidad de las protecciones.

Los elementos de protección se colocarán antes de que exista el riesgo y si es necesario quitar circunstancialmente la protección para alguna operación concreta, se adoptarán medidas de tipo individual para cada trabajador que se vea afectado por la mencionada situación de riesgo, informando a todo el personal de la obra de la nueva situación de riesgo y su temporalidad, así como cuando se vuelvan a instalar los elementos de protección colectiva, que se repondrán tan pronto como sea posible.

8. REVISIONES DE LOS ELEMENTOS DE PROTECCIÓN

Los elementos de protección se revisarán periódicamente, de manera que estén siempre en condiciones de cumplir su función.

Los elementos que en las revisiones se vean dañados de forma que no puedan cumplir su cometido, serán inutilizados para su servicio si no tienen arreglo y en caso de ser posible su reparación, se arreglarán por persona competente, de manera que se garantice su buen funcionamiento y que cumplan con su cometido, recomendándose que cuando estos elementos se vean dañados, sean retirados definitivamente de la obra, para prever posibles accidentes por culpa del deterioro de estos equipos que ya no cumplan al 100% su cometido, cambiándolos por unos nuevos

9. ANÁLISIS Y PREVENCIÓN DE RIESGOS CATASTRÓFICOS

Se especificarán en obra las medidas de prevención de riesgos catastróficos, tales como explosiones e incendios, mediante la implantación de; Medidas preventivas tales como el emplazamiento adecuado del almacenamiento de materiales peligrosos, mantenimiento de las instalaciones provisionales, etc.

Medidas protectoras tales como prohibiciones de fumar, hacer fuego, etc. Dotar a la obra de las instalaciones adecuadas de protección.

Prohibir el hacer fuego dentro del recinto de la obra; en caso de necesitar calentarse algún trabajador, debe hacerse de forma controlada y siempre en recipientes, bidones, por ejemplo, en donde se mantendrán las ascuas.

10. INSTALACIONES PROVISIONALES DE OBRA

10.1 Instalación contra incendios

Las causas que propician la aparición de un incendio en una obra no son distintas de las que lo generan en otro lugar y entre las más frecuentes se destaca la existencia de una fuente de ignición (soldaduras, conexiones eléctricas, cigarrillos, etc.) junto a una sustancia combustible (aislamientos, carburantes, pinturas, etc.) puesto que el comburente (oxígeno) ya se encuentra en el medio.

Por todo ello, se realizará una revisión y comprobación periódica del correcto acopio de sustancias combustibles con los envases cerrados e identificados, a lo largo de la ejecución de la obra.

Los medios de extinción serán a base de extintores portátiles de CO₂ y polvo seco. Los caminos de evacuación estarán libres de obstáculos, de aquí la importancia del orden y limpieza de los trabajos, y fundamentalmente en las escaleras del edificio.

10.2 Instalación eléctrica provisional

Riesgos más frecuentes:

- Heridas punzantes en manos.
- Electrocución: contactos eléctricos directos e indirectos derivados de:
 - Trabajos con tensión.
 - Intentar trabajar sin tensión, pero sin cerciorarse de que está efectivamente interrumpida o que no puede conectarse accidentalmente.
 - Mal funcionamiento de los mecanismos o sistemas de protección.
 - Usar equipos inadecuados o deteriorados.
 - Mal comportamiento o incorrecta instalación del sistema de protección contra contactos eléctricos indirectos en general, y de la toma de tierra en particular.

Medidas preventivas

Sistema de protección contra contactos indirectos

Para la prevención de posibles contactos eléctricos indirectos, el sistema de protección es el de puesta a tierra de las masas y dispositivos de corte por intensidad de defecto (interruptores diferenciales).

Protecciones individuales

- Casco de seguridad.
- Guantes aislantes.
- Comprobador de tensión.
- Herramientas manuales con aislamiento.
- Botas aislantes.

Protecciones colectivas

- Mantenimiento periódico de las mangueras eléctricas.
- Comprobación regular de tomas de tierra y enchufes.
- Revisión sistemática de cuadros de distribución.

11. RIESGOS DERIVADOS DEL EMPLAZAMIENTO DE LA OBRA Y MEDIDAS DE PROTECCIÓN

Por su situación en y dado el entorno, no hay factores externos de riesgo que puedan afectar al desarrollo de esta obra.

12. FORMACIÓN

Todo el personal recibirá, al ingresar en la obra, una exposición de los métodos de trabajo y los riesgos que esto pudiera entrañar, juntamente con las medidas de seguridad que se deberán emplear. Al personal más cualificado se le impartirán enseñanzas de socorrismo y primeros auxilios.

13. PRINCIPIOS GENERALES APLICABLES DURANTE LA EJECUCIÓN DE LA OBRA

De conformidad con lo dispuesto en la Ley de Prevención de Riesgos Laborales (Ley 31/95, de 8 de noviembre) y según el artículo 10 del Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción, se aplicarán durante la ejecución de la obra los principios generales de la acción preventiva que se recogen en el artículo 15 de la Ley, y en particular las tareas y actividades siguientes:

- Se mantendrá la obra en buen estado de orden y limpieza.
- Se emplazarán las zonas de trabajo teniendo en cuenta sus condiciones de accesibilidad y se crearán vías expeditas para desplazamientos y circulación.
- La manipulación de cargas, medios auxiliares, etc., se realizará con seguridad y según los criterios expresados en los apartados anteriores.
- El uso de los medios auxiliares se llevará a cabo con las condiciones de seguridad descritas en los apartados correspondientes.
- Todas las instalaciones provisionales de obra se mantendrán en buen estado de servicio y se efectuará un control previo periódico de cada instalación, maquinaria, herramienta, etc., según los criterios expresados anteriormente, con objeto de corregir los defectos existentes, que pudieran afectar a la seguridad.
- Se crearán unas zonas de acopio y depósito de materiales y, en particular, aquellas sustancias o materiales peligrosos, que se recogerán en locales adecuados.
- Se ordenará la eliminación periódica de los escombros y residuos, trasladándolos a lugares destinados exclusivamente a tal efecto y transportándolos a vertederos periódicamente.
- En función del desarrollo de la obra, se programarán los tiempos efectivos de trabajo que habrá de dedicarse a cada tarea o fase de trabajo, adaptándolos en consecuencia según evolucionen.
- Se programará la cooperación e interacción entre los contratistas, subcontratistas y trabajadores autónomos que realicen tareas simultaneas en la obra.
- Se evaluarán las posibles incompatibilidades e interacciones entre la obra y cualquier otro tipo de trabajo o actividad que se realice en la obra o en sus proximidades.

14. DISPOSICIONES MÍNIMAS DE SEGURIDAD Y SALUD QUE DEBERÁN APLICARSE DURANTE LA OBRA

En general, en las obras de maquinaria y manipulación de materiales, debe tenerse en cuenta:

- Los vehículos y maquinaria para manipulación de materiales deberán ajustarse a lo dispuesto en su normativa específica.
- En todo caso y, a salvo de disposiciones específicas de la normativa citada, los vehículos y maquinaria para movimiento de tierras y manipulación de materiales deberán satisfacer las condiciones que se señalan en los siguientes puntos:
- Estar bien proyectados y contruidos, teniendo en cuenta, en la medida de lo posible, los principios de la ergonomía.
- Mantenerse en buen estado de funcionamiento.
- Utilizarse correctamente.
- Los conductores y personal encargado de vehículos y maquinaria para movimientos de tierra y manipulación de materiales deberán recibir una formación especial.
- Deberán adoptarse medidas preventivas para evitar que caigan en las excavaciones o en el agua vehículos o maquinaria para movimiento de tierras y manipulación de materiales.
- Cuando sea adecuado, la maquinaria para movimiento de tierras y manipulación de materiales deberán estar equipadas con estructuras concebidas para proteger al conductor contra el aplastamiento, en caso de vuelco de la máquina y contra la caída de objetos.

15. SERVICIOS DE HIGIENE Y PREVENCIÓN

15.1 Botiquín

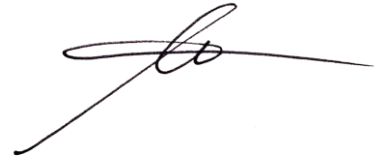
Existirá un botiquín de obra, con armario de pared y con la dotación necesaria para primeras curas, según define el artículo 43 de la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo. El botiquín, se revisará mensualmente y, se repondrá de inmediato lo consumido.

Habiéndose considerado un número reducido de operarios, no se prevén otras instalaciones especiales de higiene y prevención, lo que sí que de tener muy en cuenta ante posibles riesgos es el número de teléfono y ubicación del centro hospitalario más próximo. Además, se dispondrá de los teléfonos de servicio de ambulancias más próximos, para casos de emergencia.

15.2 Vigilante de seguridad

Cuando en la obra exista un número de obreros superior a cinco e inferior a treinta, se nombrará un vigilante de seguridad, de acuerdo con lo previsto en la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

En Ferrol, a diciembre de 2018.

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized 'B' followed by a horizontal line and a small loop.

Fdo.: Begoña Espiñeira Sicre



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO
CURSO 2018/19**

*DISEÑO INGENIERIL Y MECÁNICA DE
RECUPERADORES DE CALOR EN MOTOR
DIÉSEL PARA PLANTA DE COGENERACIÓN*

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

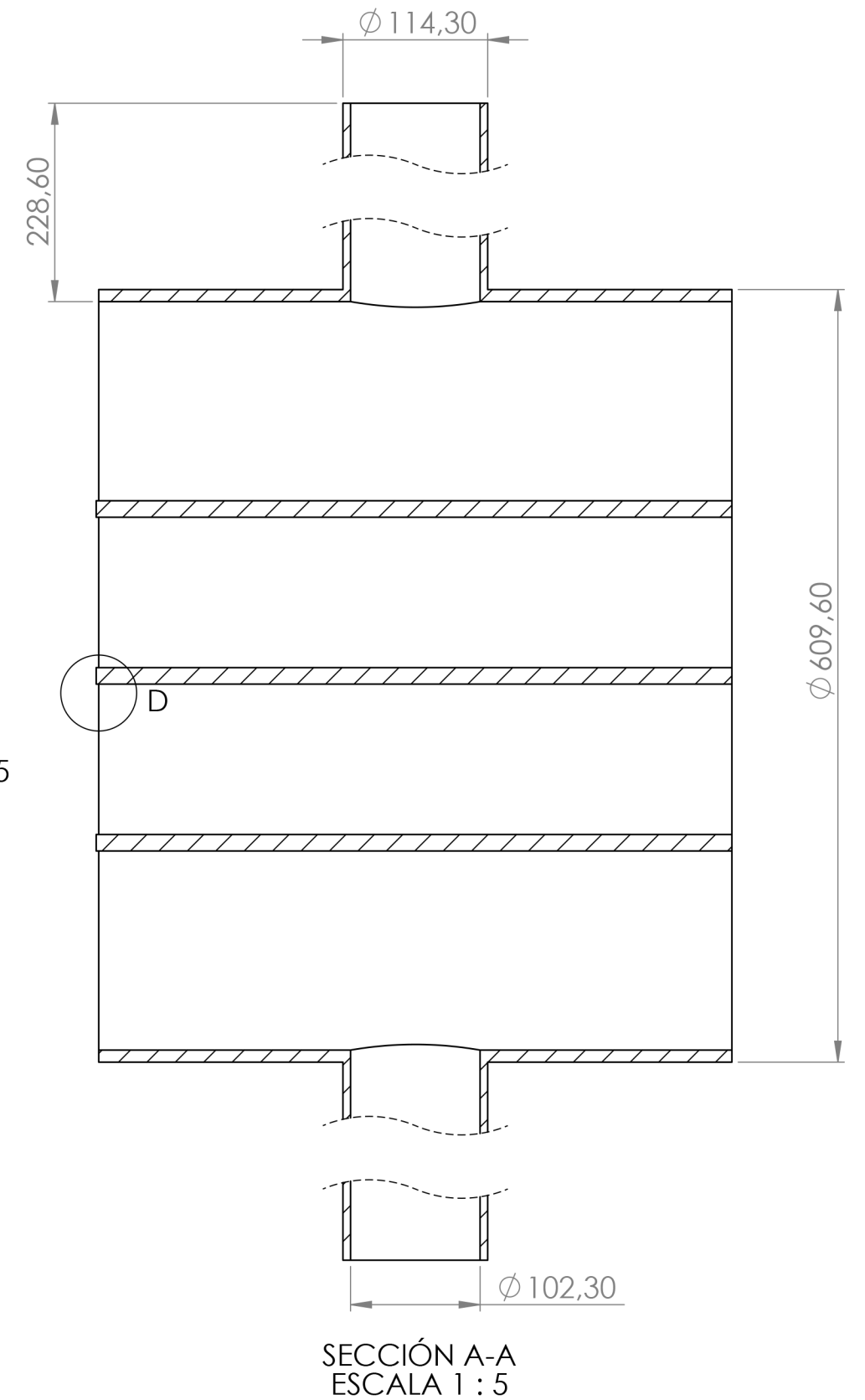
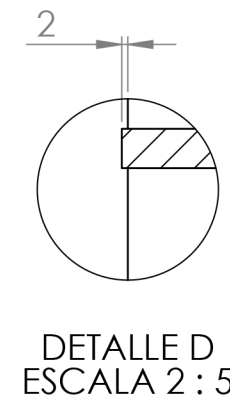
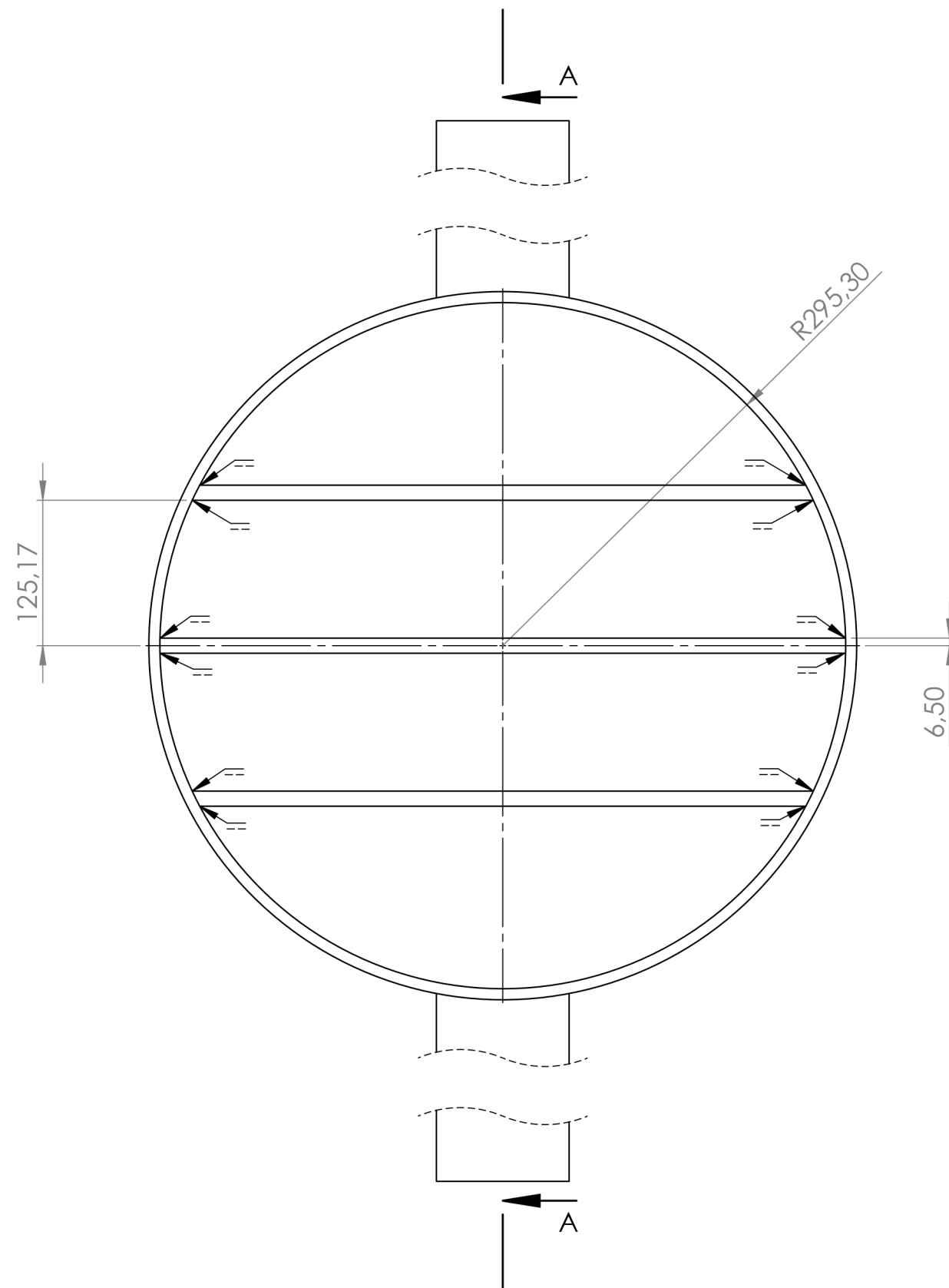
DOCUMENTO II: PLANOS

Planos

Begoña Espiñeira Sicre

Índice

1. *Planos intercambiador aceite-agua* _____
 - 1.1 Cabezal frontal _____
 - 1.2 Cabezal posterior _____
 - 1.3 Carcasa _____
 - 1.4 Placa de tubos frontal _____
 - 1.5 Placa de tubos posterior _____
 - 1.6 Baffle _____
 - 1.7 Brida de unión _____
 - 1.8 Brida ciega _____
 - 1.9 Brida de conexión _____
 - 1.10 Tubo _____
 - 1.11 Barra de soporte _____
2. *Planos intercambiador agua-agua* _____
 - 2.1 Cabezal frontal _____
 - 2.2 Cabezal posterior _____
 - 2.3 Carcasa _____
 - 2.4 Placa de tubos frontal _____
 - 2.5 Placa de tubos posterior _____
 - 2.6 Baffle _____
 - 2.7 Brida de unión _____
 - 2.8 Brida ciega _____
 - 2.9 Brida de conexión _____
 - 2.10 Tubo _____
 - 2.11 Barra de soporte _____



ESPECIFICACIONES	
MATERIAL	Acero Inoxidable 316
SOLDADURAS	TIPO SMAW

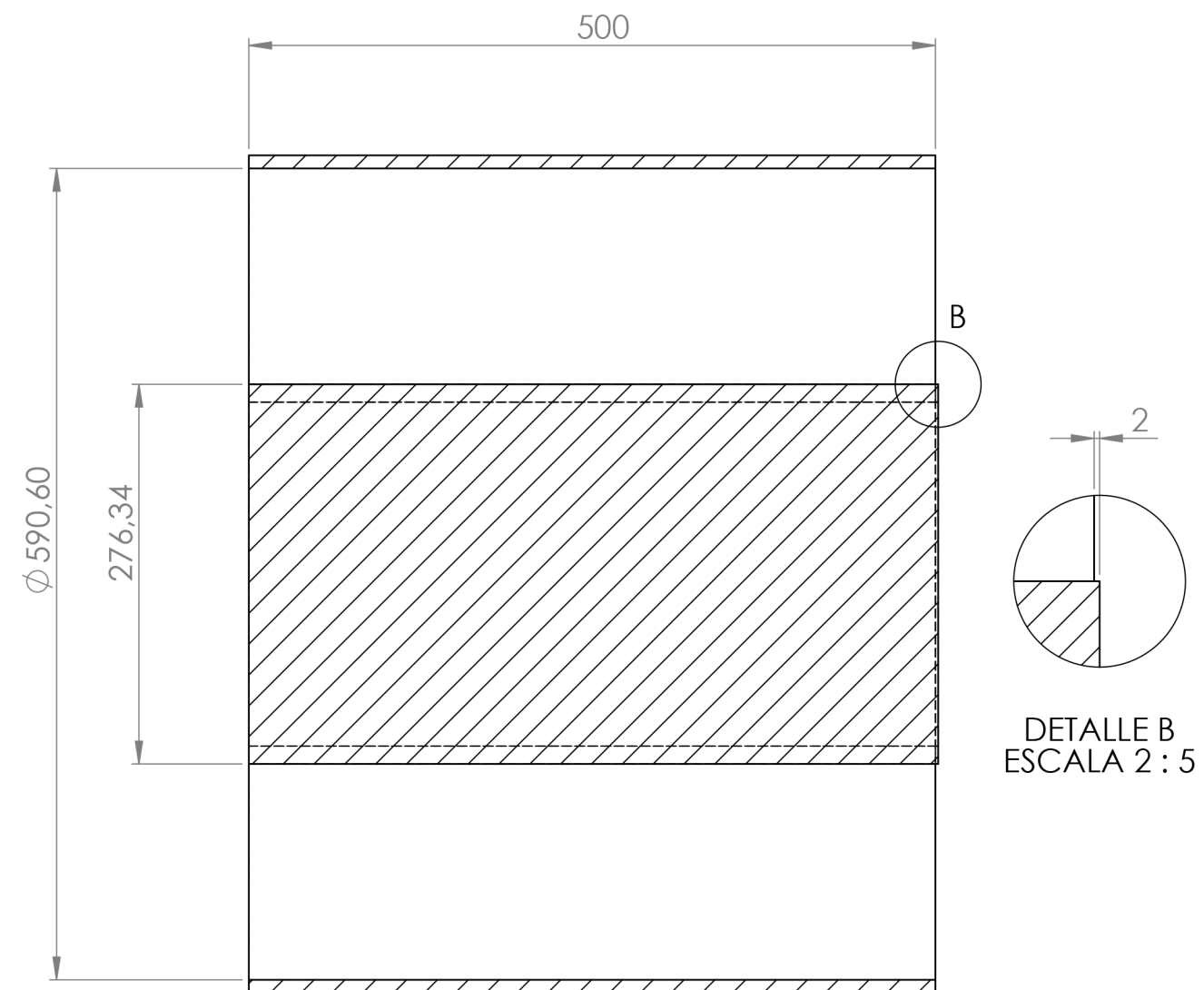
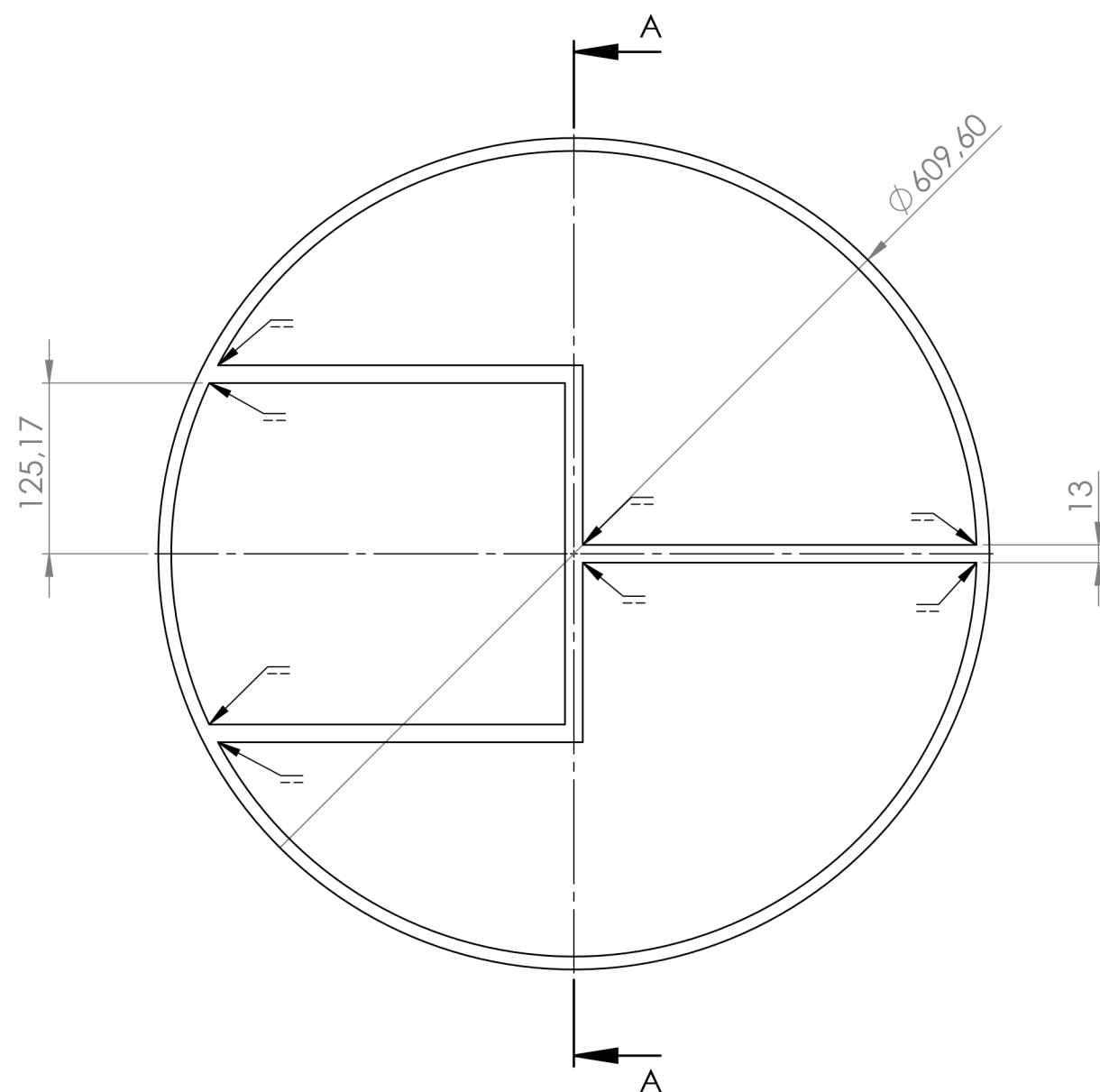
LEYENDA	
	SOLDADURAS



UNIVERSIDADE DA CORUÑA
ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR



PROYECTO: DISEÑO INGENIERIL Y MECÁNICO DE RECUPERADORES DE CALOR EN MOTOR DIÉSEL PARA PLANTA DE COGENERACIÓN			
TÍTULO DE PLANO: CABEZAL FRONTAL	FIRMA:	ESCALA: 1:5	FORMATO: A3
AUTOR: BEGOÑA ESPIÑEIRA SICRE		FECHA: DICIEMBRE 2018	Nº DE PLANO: ①



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 5

ESPECIFICACIONES

MATERIAL	Acero Inoxidable 316
SOLDADURAS	TIPO SMAW

LEYENDA

	SOLDADURAS
--	------------



UNIVERSIDADE DA CORUÑA
ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR



PROYECTO: DISEÑO INGENIERIL Y MECÁNICO DE RECUPERADORES DE CALOR EN MOTOR
DIÉSEL PARA PLANTA DE COGENERACIÓN

TÍTULO DE PLANO: CABEZAL POSTERIOR

AUTOR: BEGOÑA ESPÍNEIRA SICRE

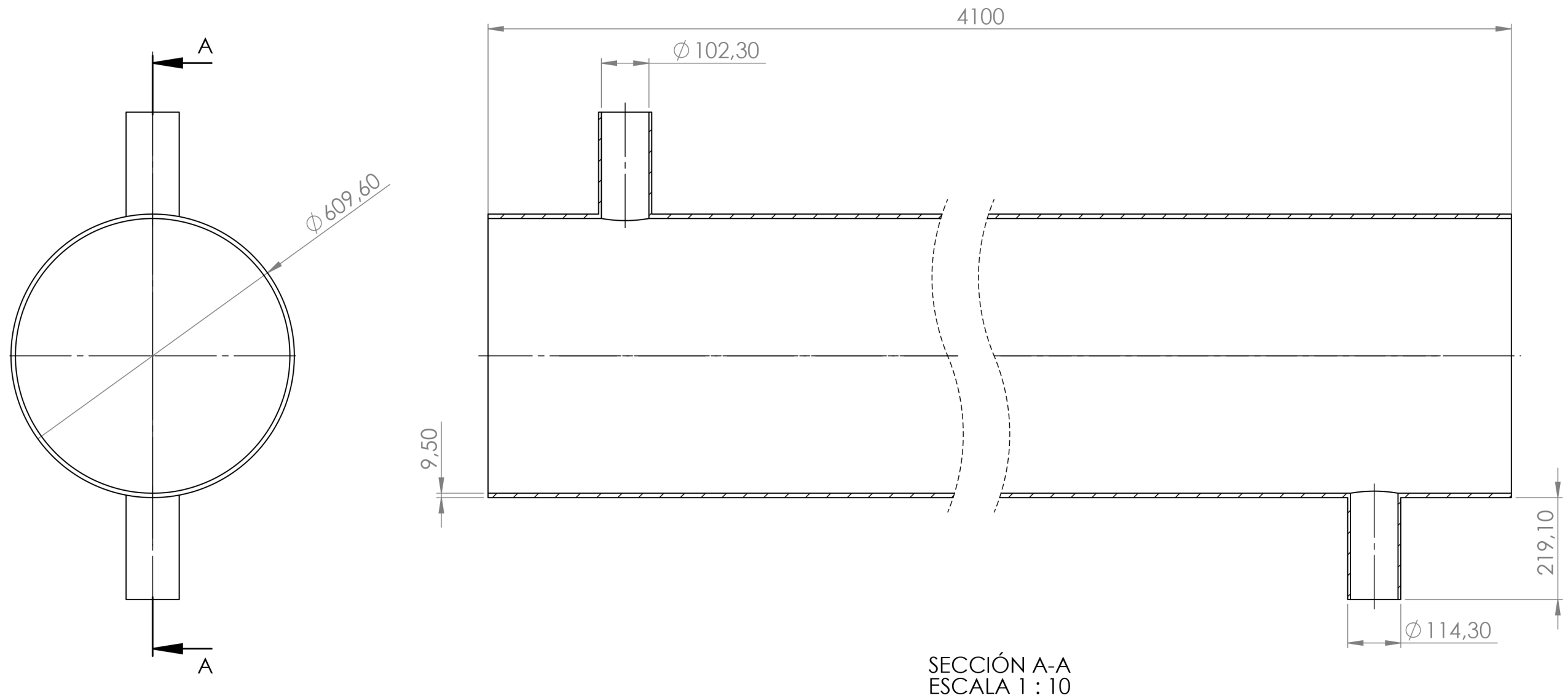
FIRMA:

ESCALA: 1:5

FORMATO: A3

FECHA: DICIEMBRE 2018

Nº DE PLANO: ②



ESPECIFICACIONES	
MATERIAL	Acero Inoxidable 316



UNIVERSIDADE DA CORUÑA
ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR



PROYECTO: DISEÑO INGENIERIL Y MECÁNICO DE RECUPERADORES DE CALOR EN MOTOR
DIÉSEL PARA PLANTA DE COGENERACIÓN

TÍTULO DE PLANO: CARCASA

FIRMA:

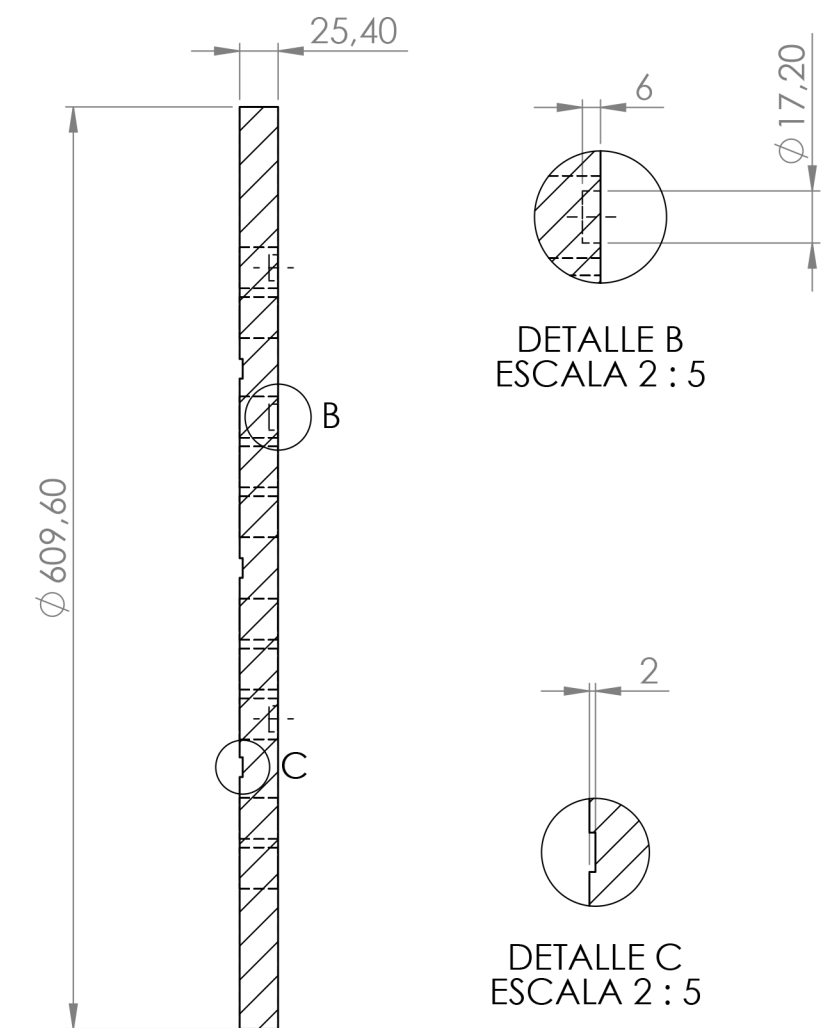
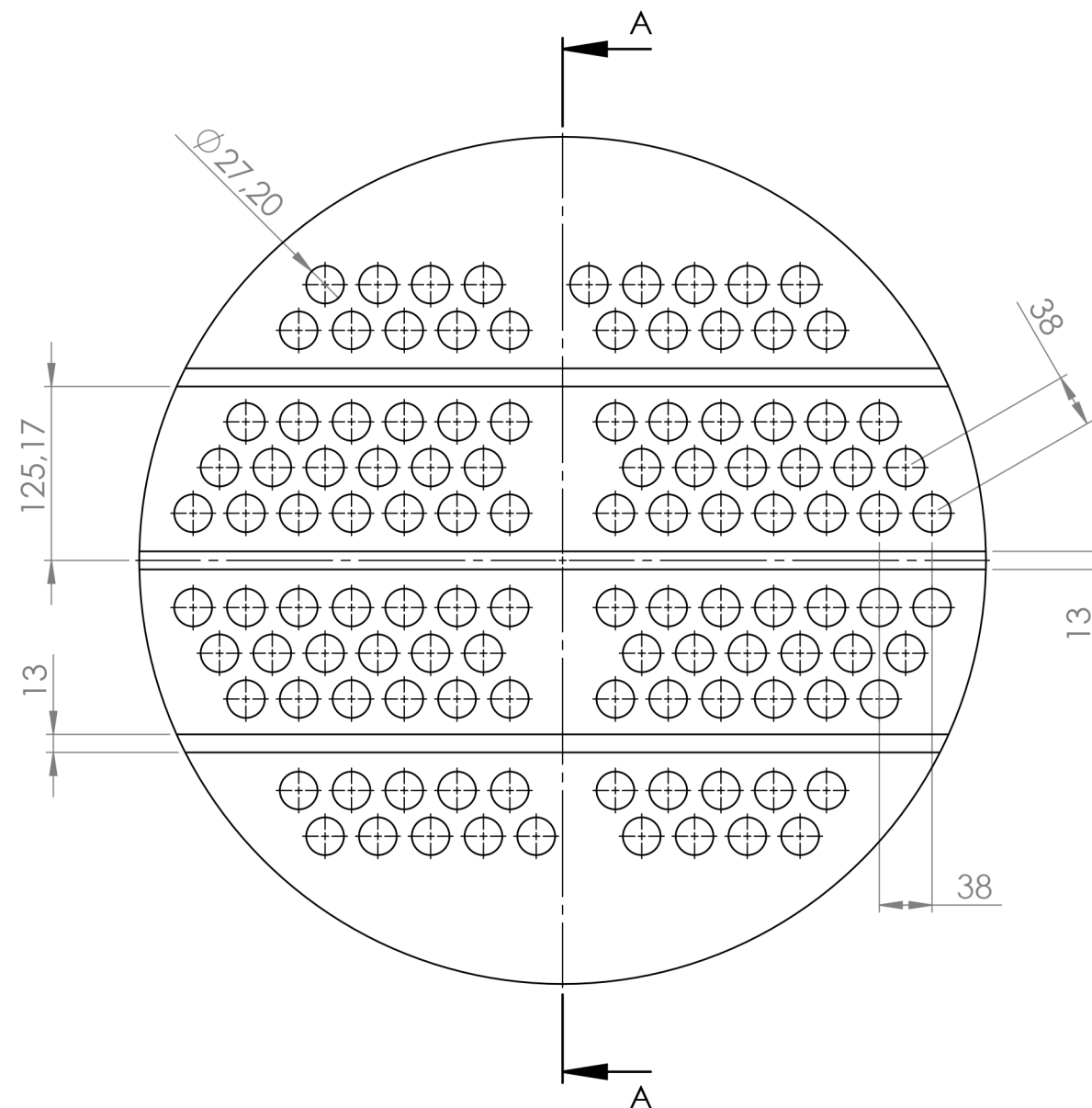
ESCALA: 1:10

FORMATO: A3

AUTOR: BEGOÑA ESPÍNEIRA SICRE

FECHA: DICIEMBRE 2018

Nº DE PLANO: ③



SECCIÓN A-A

ESPECIFICACIONES	
MATERIAL	Acero Inoxidable 316
Nº DE TUBOS	114
Nº DE BARRAS DE SOPORTE	6



UNIVERSIDADE DA CORUÑA
ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR



PROYECTO: DISEÑO INGENIERIL Y MECÁNICO DE RECUPERADORES DE CALOR EN MOTOR
DIÉSEL PARA PLANTA DE COGENERACIÓN

TÍTULO DE PLANO:
PLACA PORTATUBOS FRONTAL

FIRMA:

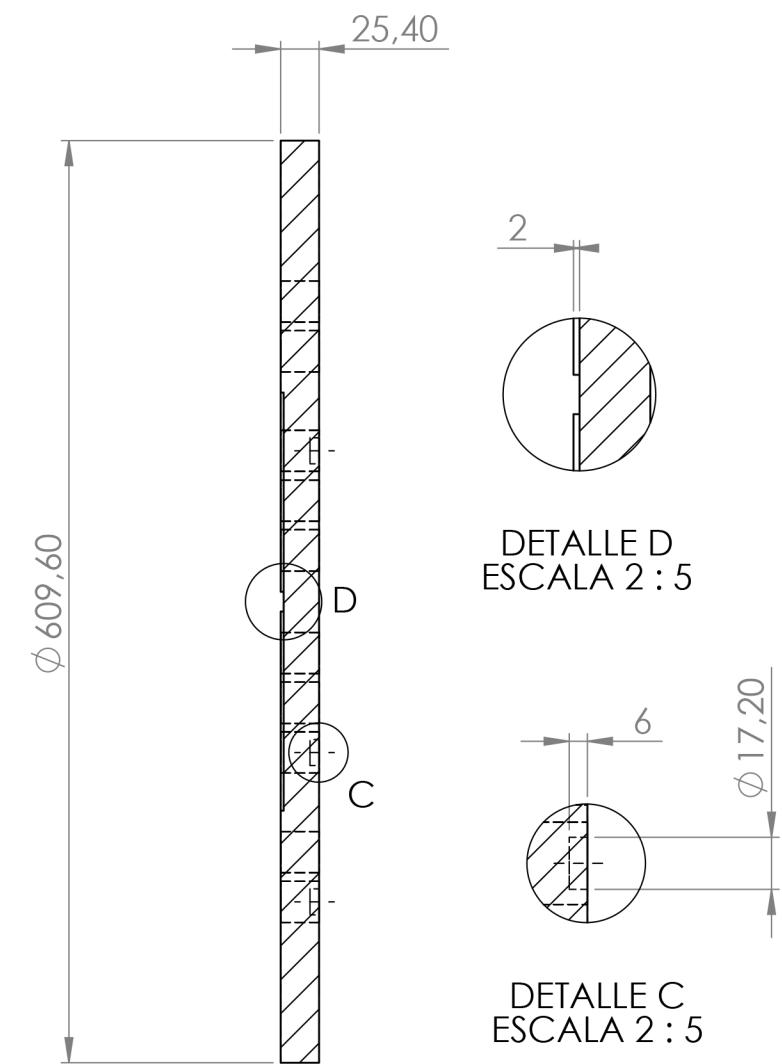
ESCALA: 1:5

FORMATO: A3

AUTOR: BEGOÑA ESPÍNEIRA SICRE

FECHA: DICIEMBRE 2018




Nº DE PLANO: 4

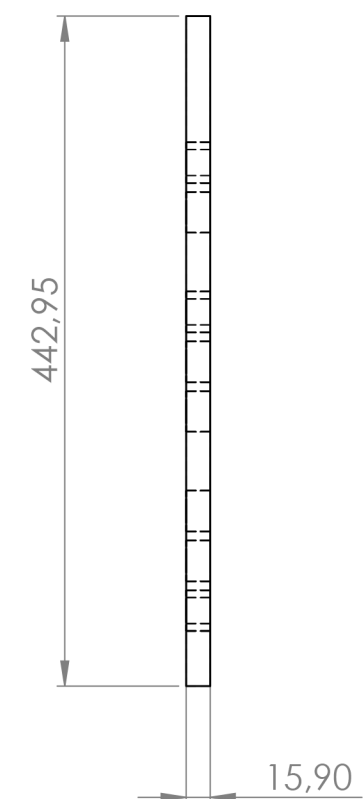
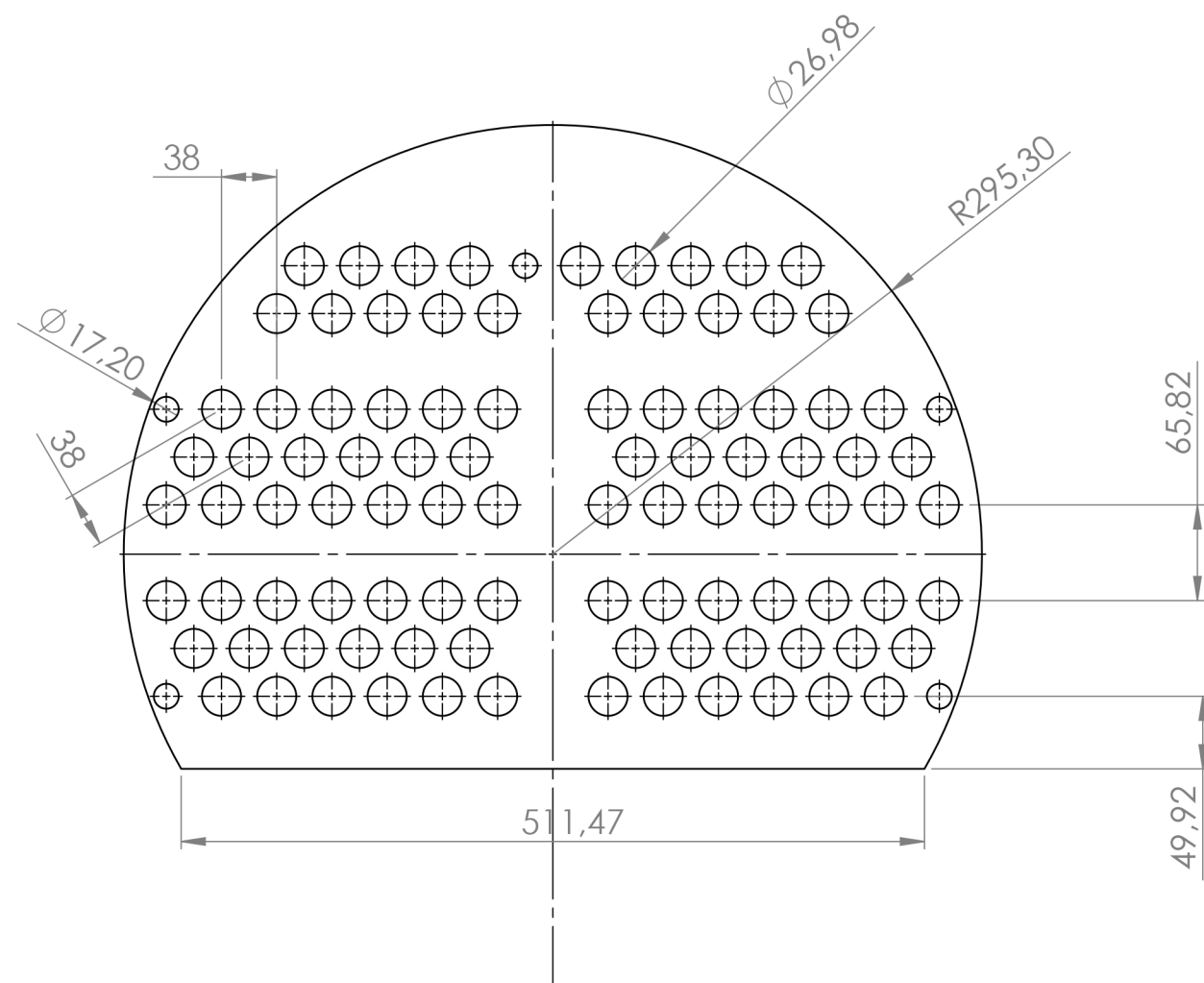


DETALLE D
ESCALA 2 : 5

DETALLE C
ESCALA 2:5

ESPECIFICACIONES	
MATERIAL	Acero Inoxidable 316
Nº DE TUBOS	114
Nº DE BARRAS DE SOPORTE	6

	<h1 style="margin: 0;">UNIVERSIDADE DA CORUÑA</h1> <h2 style="margin: 0;">ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR</h2>													
<p>PROYECTO: DISEÑO INGENIERIL Y MECÁNICO DE RECUPERADORES DE CALOR EN MOTOR DÍESEL PARA PLANTA DE COGENERACIÓN</p>														
<p>TÍTULO DE PLANO: PLACA PORTATUBOS POSTERIOR</p>	<p>FIRMA: </p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">ESCALA:</td> <td style="width: 33%;">1:5</td> <td style="width: 33%;">FORMATO:</td> <td>A3</td> </tr> <tr> <td colspan="2">FECHA:</td> <td colspan="2">DICIEMBRE 2018</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Nº DE PLANO:</td> <td colspan="2">⑤</td> </tr> </table>	ESCALA:	1:5	FORMATO:	A3	FECHA:		DICIEMBRE 2018		Nº DE PLANO:		⑤	
ESCALA:	1:5	FORMATO:	A3											
FECHA:		DICIEMBRE 2018												
Nº DE PLANO:		⑤												
<p>AUTOR: BEGOÑA ESPÍNEIRA SICRE</p>														



ESPECIFICACIONES	
MATERIAL	Acero Inoxidable 316
Nº DE TUBOS	95
Nº DE BARRAS DE SOPORTE	5
Nº DE BAFLES	26



UNIVERSIDADE DA CORUÑA
ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR



PROYECTO: DISEÑO INGENIERIL Y MECÁNICO DE RECUPERADORES DE CALOR EN MOTOR
DIÉSEL PARA PLANTA DE COGENERACIÓN

TÍTULO DE PLANO: BAFLE

FIRMA:

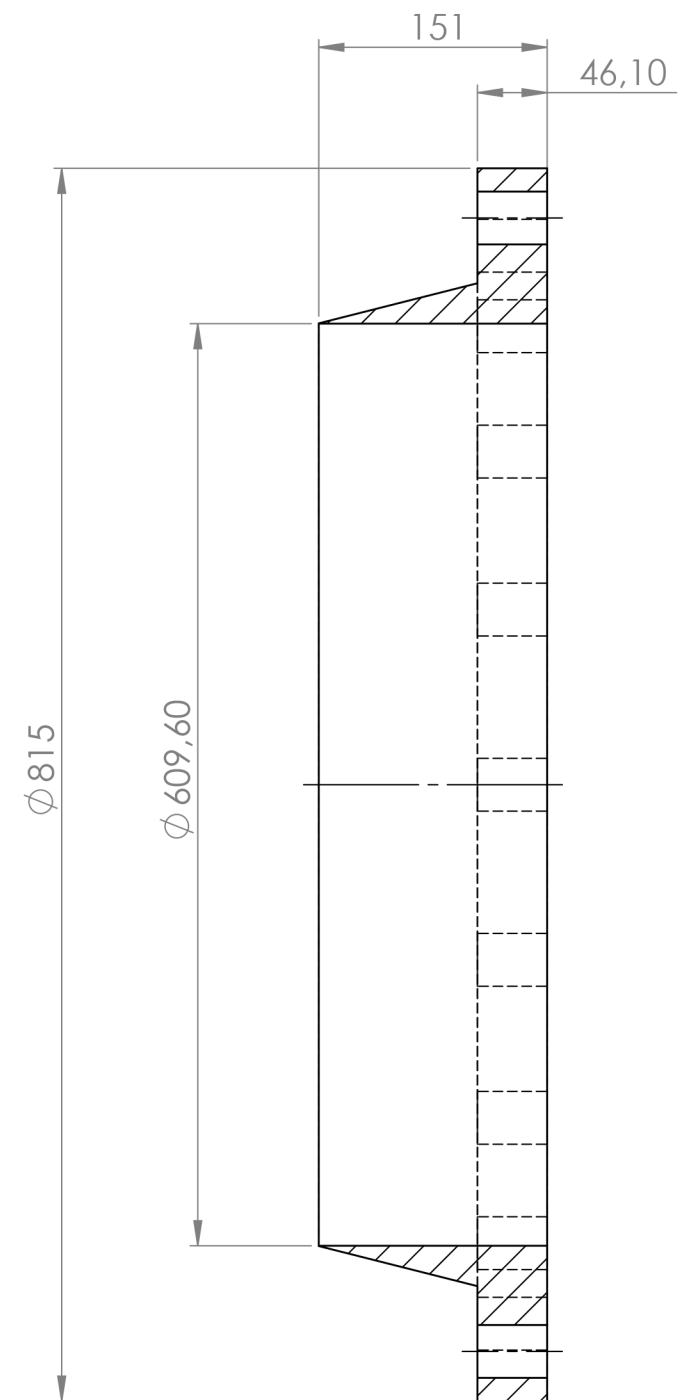
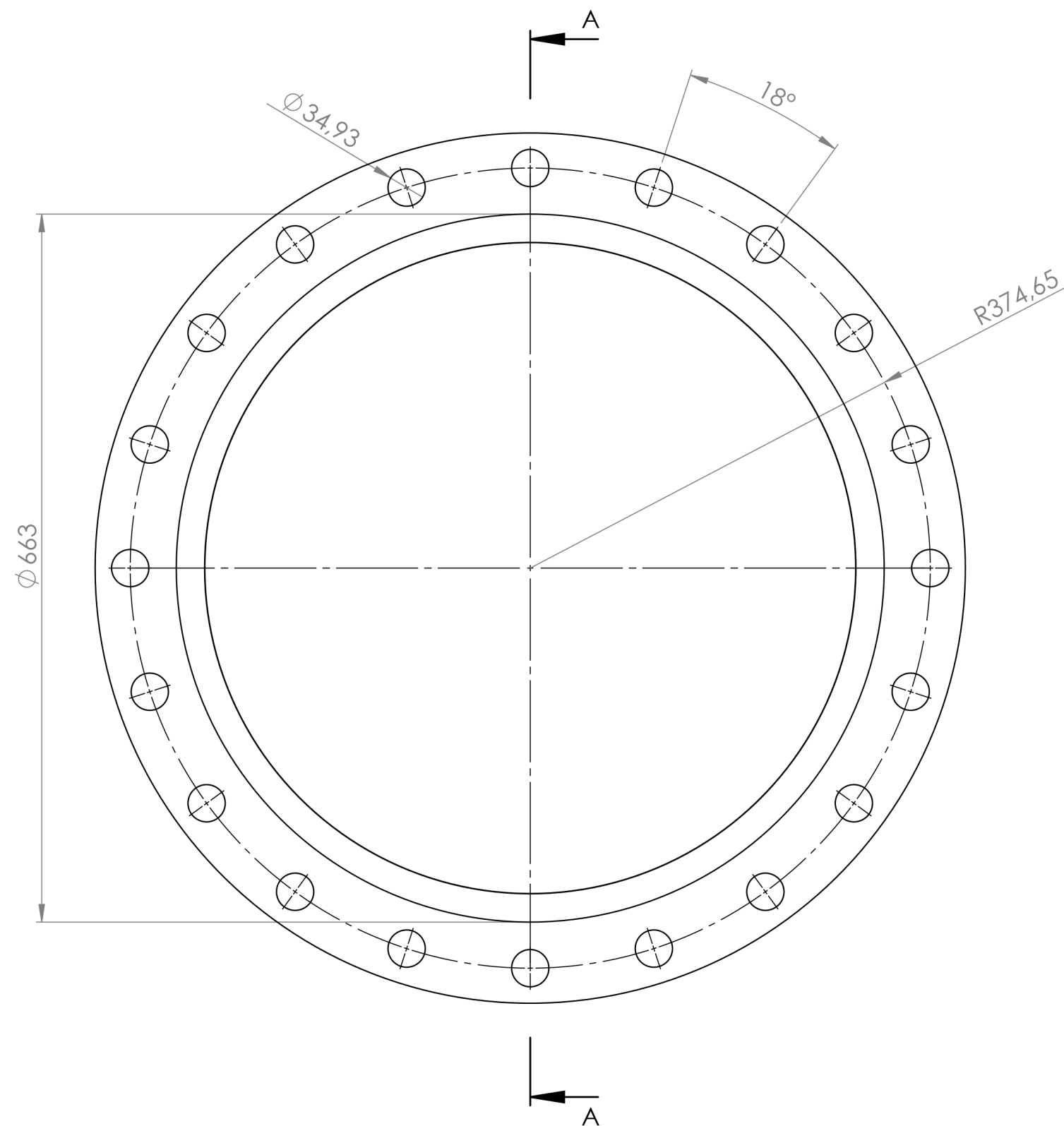
ESCALA: 1:5

FORMATO: A3

AUTOR: BEGOÑA ESPÍNEIRA SICRE

FECHA: DICIEMBRE 2018

Nº DE PLANO: ⑥



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 5

ESPECIFICACIONES	
MATERIAL	Acero Inoxidable 316
Nº TALADROS	20
JUNTA	DURLON FMG316



UNIVERSIDADE DA CORUÑA
ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR



PROYECTO: DISEÑO INGENIERIL Y MECÁNICO DE RECUPERADORES DE CALOR EN MOTOR
DIÉSEL PARA PLANTA DE COGENERACIÓN

TÍTULO DE PLANO: BRIDA DE UNIÓN

FIRMA:

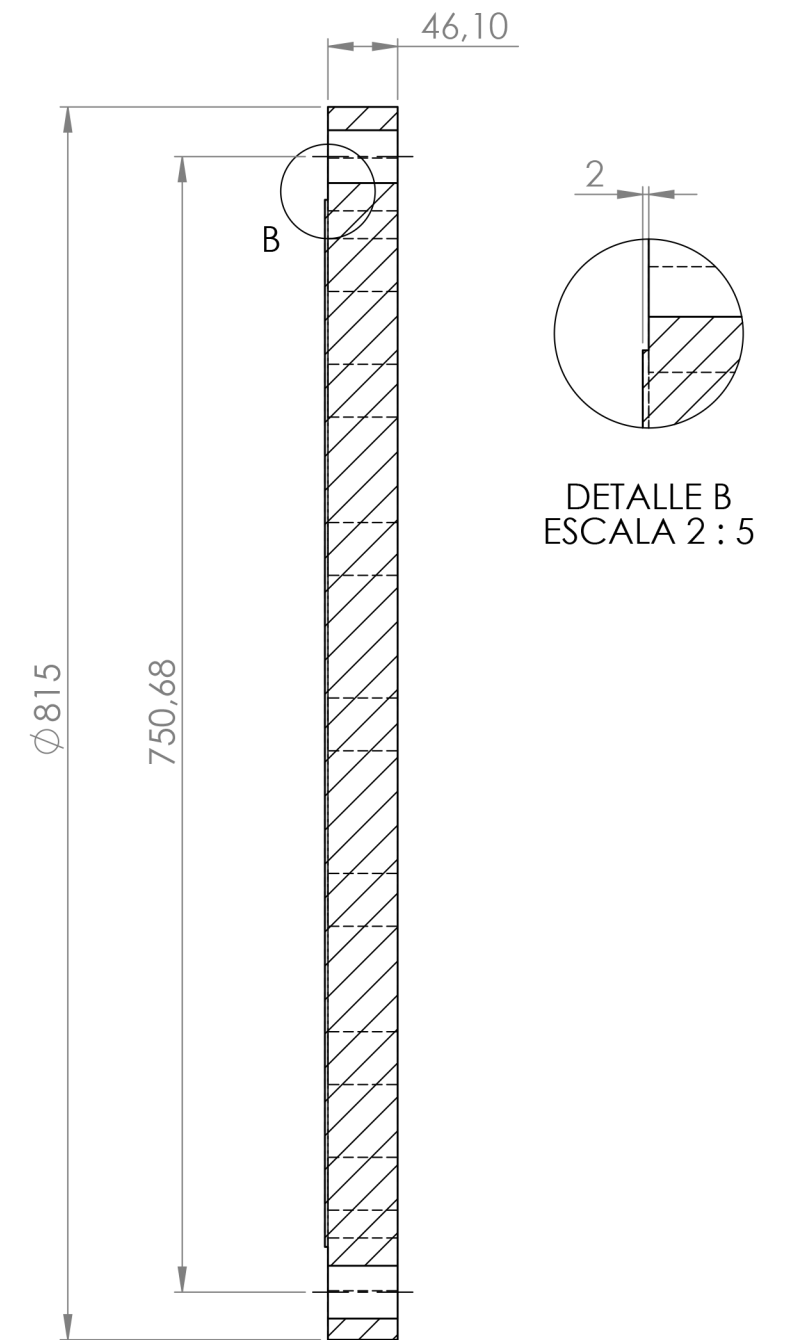
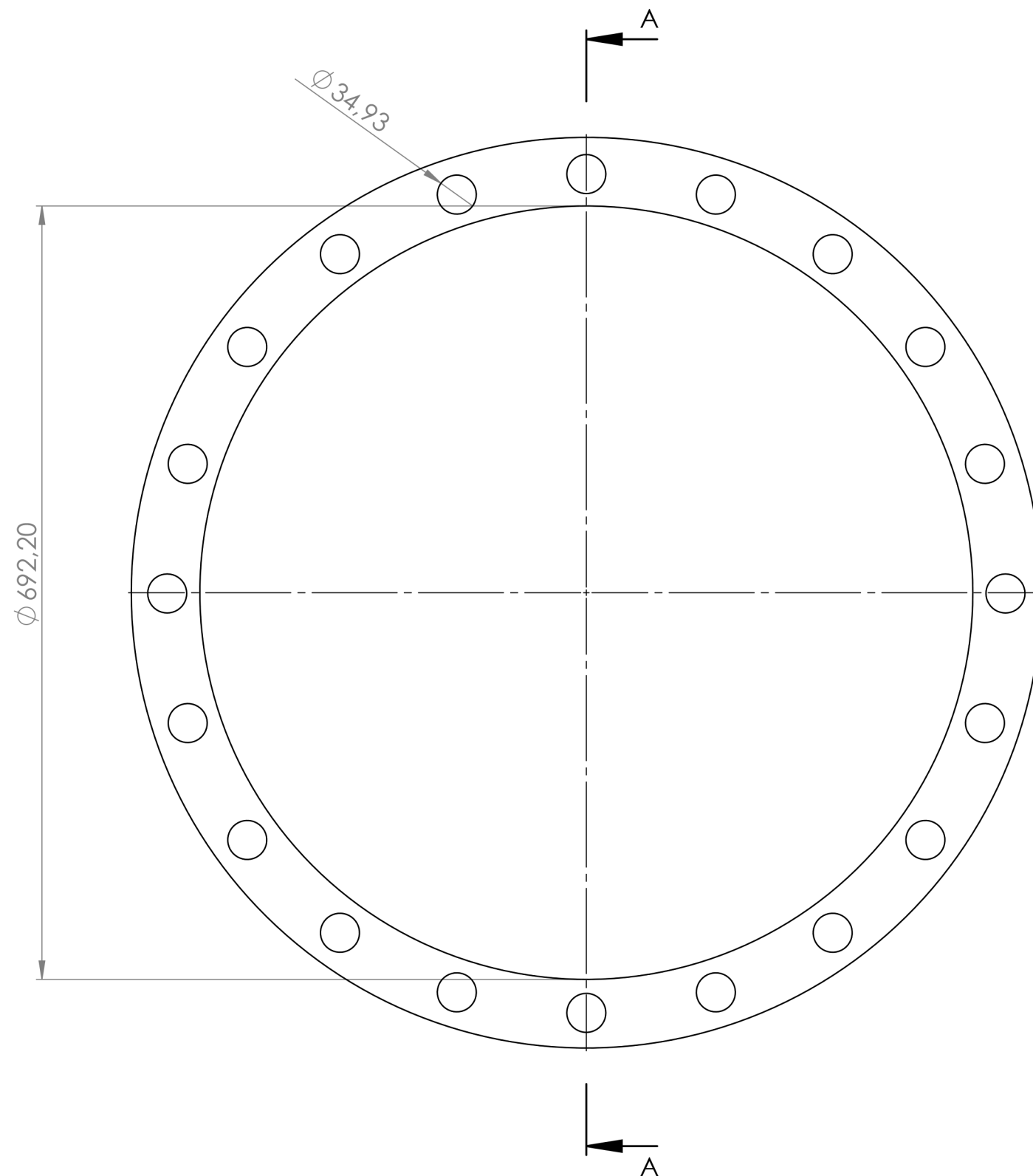
ESCALA: 1:5

FORMATO: A3

AUTOR: BEGOÑA ESPÍNEIRA SICRE

FECHA: DICIEMBRE 2018

Nº DE PLANO: 7



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 5

ESPECIFICACIONES	
MATERIAL	Acero Inoxidable 316
Nº TALADROS	20
JUNTA	DURLON FMG316



UNIVERSIDADE DA CORUÑA
ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR



PROYECTO: DISEÑO INGENIERIL Y MECÁNICO DE RECUPERADORES DE CALOR EN MOTOR DIÉSEL PARA PLANTA DE COGENERACIÓN

TÍTULO DE PLANO: BRIDA CIEGA

FIRMA:

ESCALA: 1:5

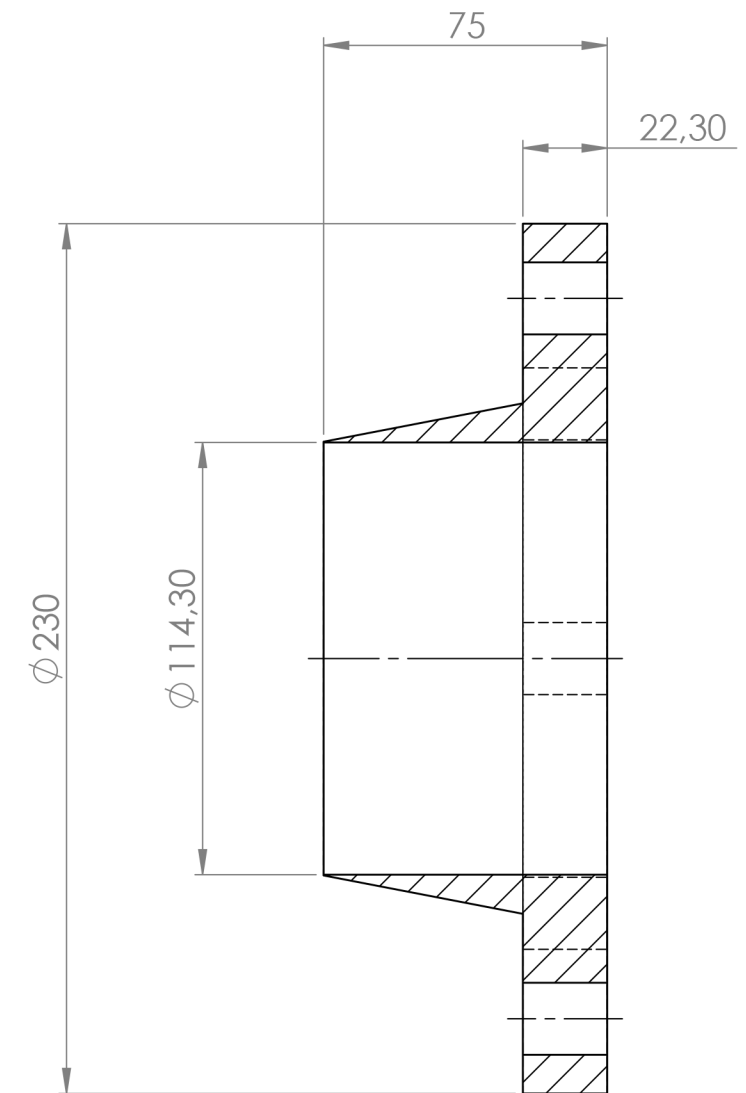
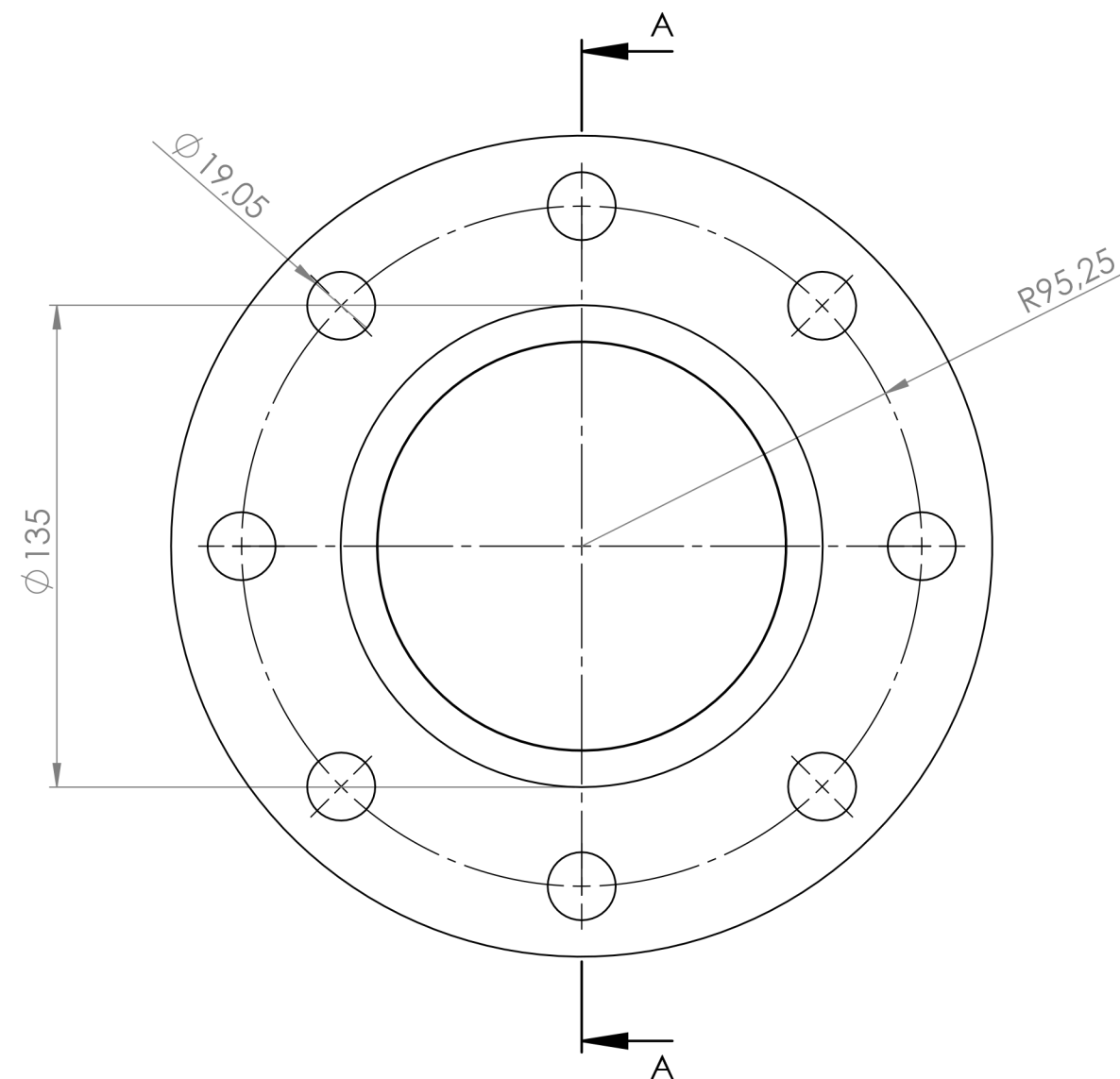
FORMATO: A3

AUTOR: BEGOÑA ESPÍNEIRA SICRE

[Signature]

FECHA: DICIEMBRE 2018

Nº DE PLANO: ⑧



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 2

ESPECIFICACIONES

MATERIAL	Acero Inoxidable 316
Nº TALADROS	8
JUNTA	DURLON FMG316



UNIVERSIDADE DA CORUÑA
ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR



PROYECTO: DISEÑO INGENIERIL Y MECÁNICO DE RECUPERADORES DE CALOR EN MOTOR
DIÉSEL PARA PLANTA DE COGENERACIÓN

TÍTULO DE PLANO: BRIDA DE CONEXIÓN

FIRMA:

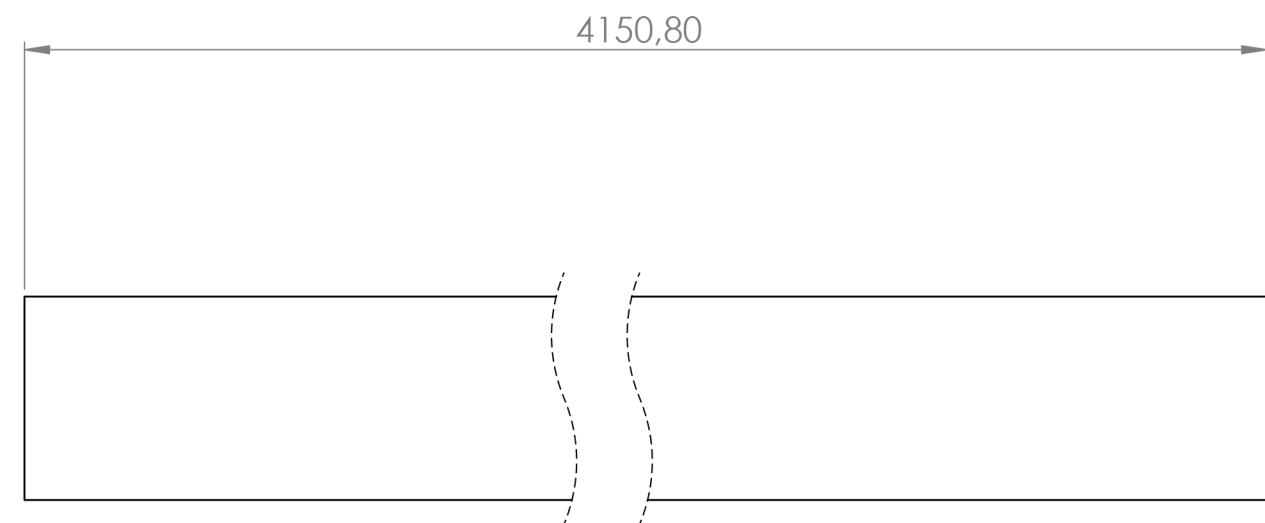
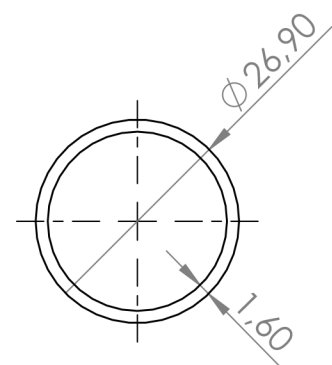
ESCALA: 1:2

FORMATO: A3

AUTOR: BEGOÑA ESPÍNEIRA SICRE

FECHA: DICIEMBRE 2018

Nº DE PLANO: 9



ESPECIFICACIONES	
MATERIAL	Acero Inoxidable 316
Nº DE TUBOS	114



UNIVERSIDADE DA CORUÑA
ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR



PROYECTO: DISEÑO INGENIERIL Y MECÁNICO DE RECUPERADORES DE CALOR EN MOTOR
DIÉSEL PARA PLANTA DE COGENERACIÓN

TÍTULO DE PLANO: TUBO

FIRMA:

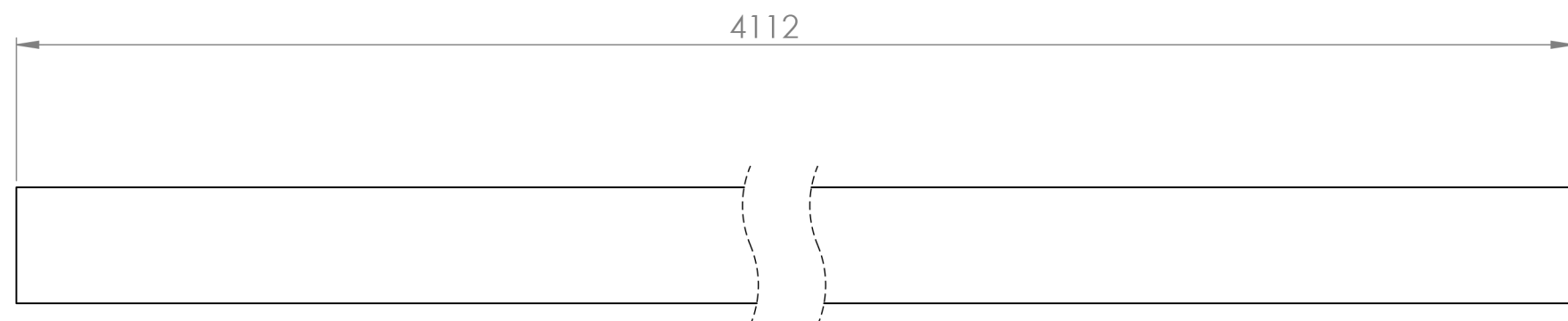
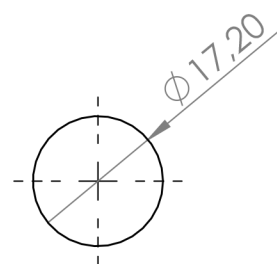
ESCALA: 1:1

FORMATO: A3

AUTOR: BEGOÑA ESPIÑEIRA SICRE

FECHA: DICIEMBRE 2018

Nº DE PLANO: 10



ESPECIFICACIONES	
MATERIAL	Acero Inoxidable 316
Nº DE BARRAS DE SOPORTE	6



UNIVERSIDADE DA CORUÑA
ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR



PROYECTO: DISEÑO INGENIERIL Y MECÁNICO DE RECUPERADORES DE CALOR EN MOTOR
DIÉSEL PARA PLANTA DE COGENERACIÓN

TÍTULO DE PLANO: BARRA DE SOPORTE

FIRMA:

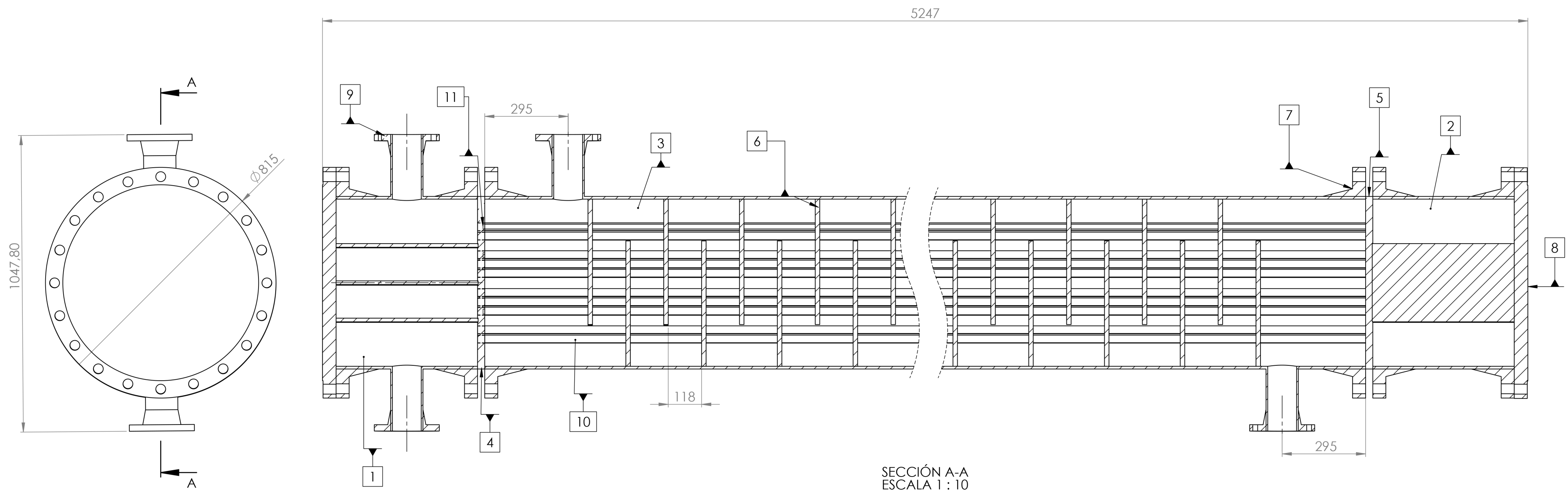
ESCALA: 1:1

FORMATO: A3

AUTOR: BEGOÑA ESPÍNEIRA SICRE

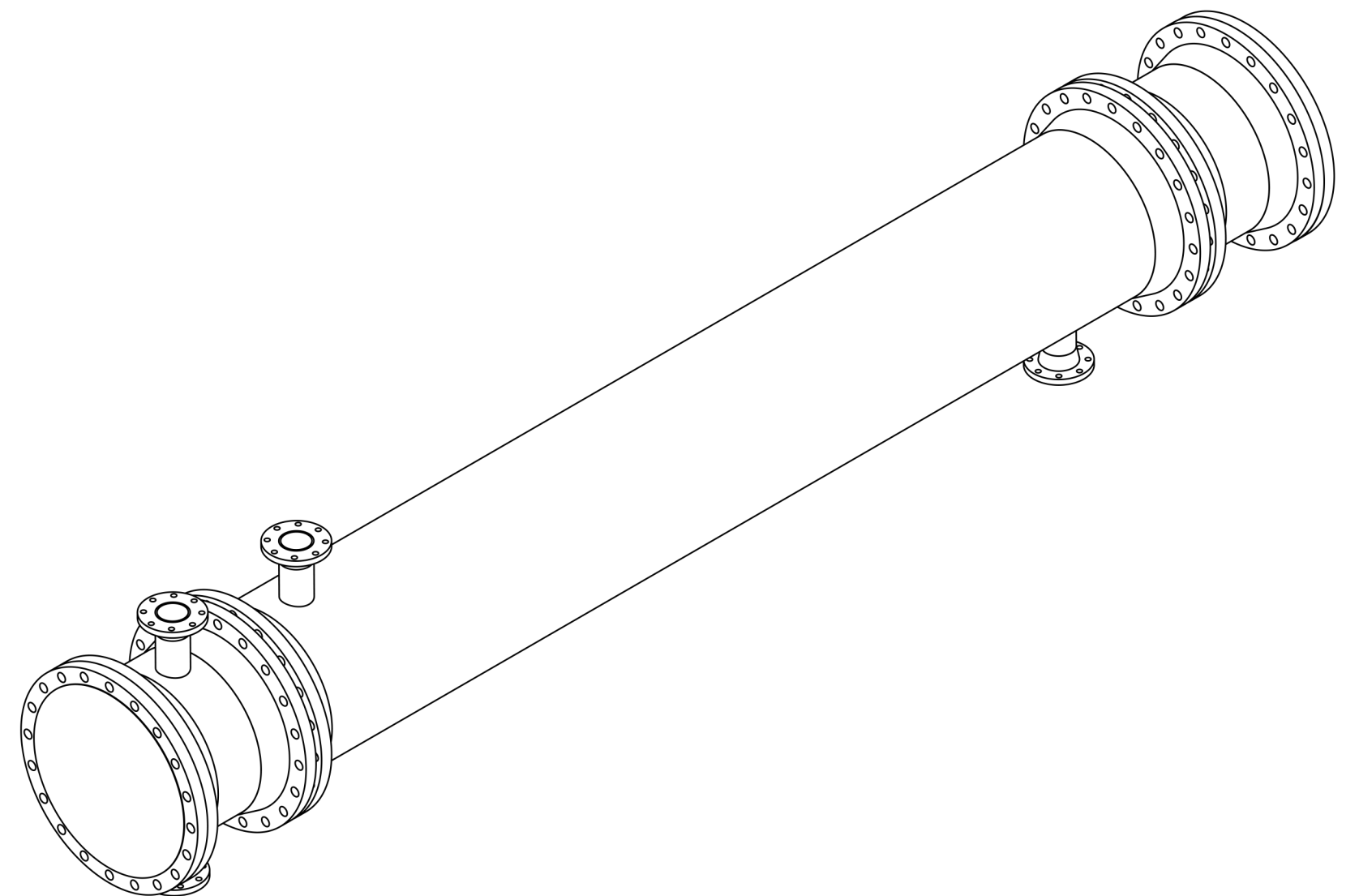
FECHA: DICIEMBRE 2018



Nº DE PLANO: 11

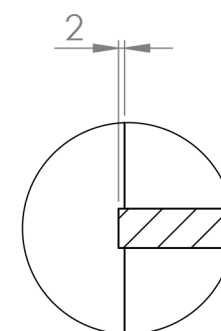
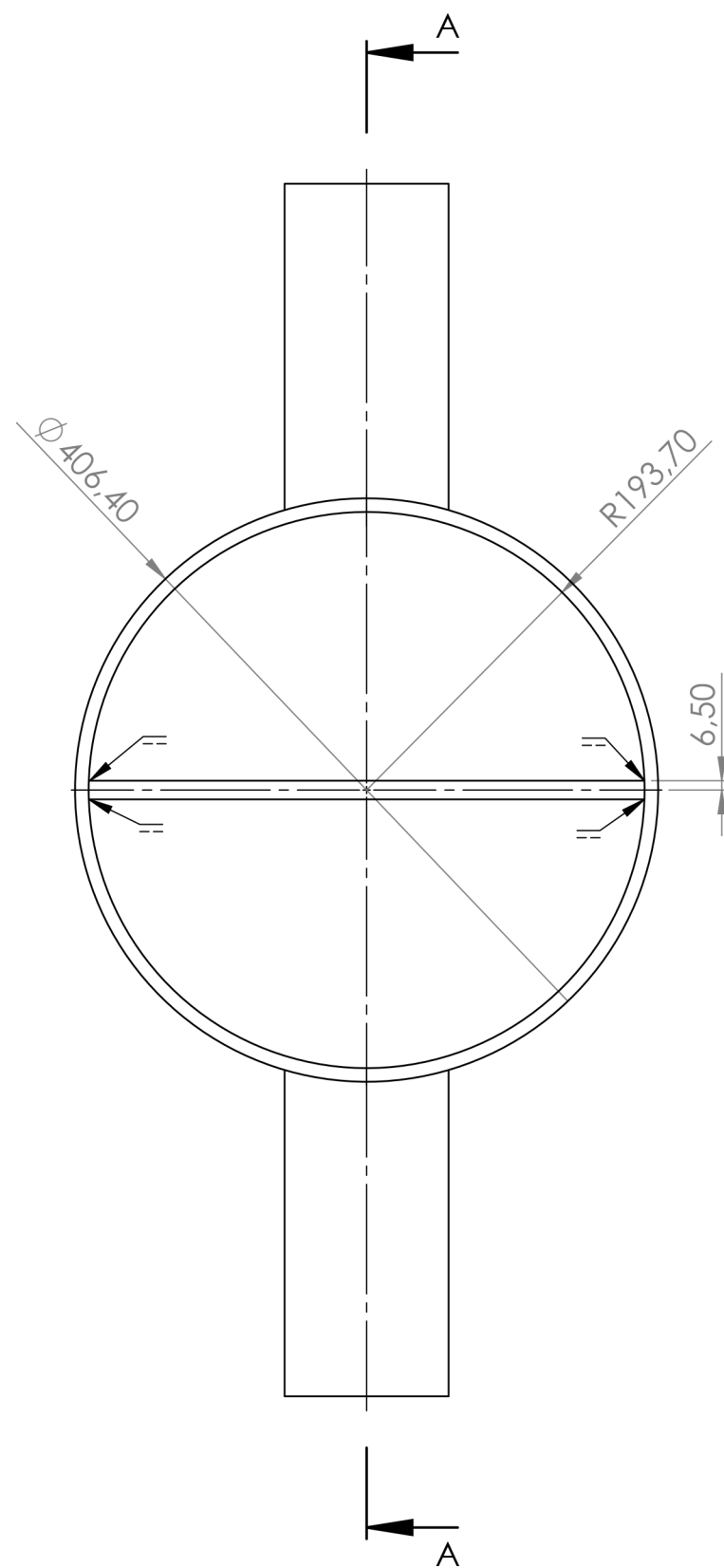


C	
1	CABEZAL FRONTAL
2	CABEZAL POSTERIOR
3	CARCASA
4	PLACA DE TUBOS FRONTAL
5	PLACA DE TUBOS POSTERIOR
6	BAFLE
7	BRIDA DE UNIÓN
8	BRIDA CIEGA
9	BRIDA DE CONEXIÓN
10	TUBO
11	BARRA DE SOPORTE

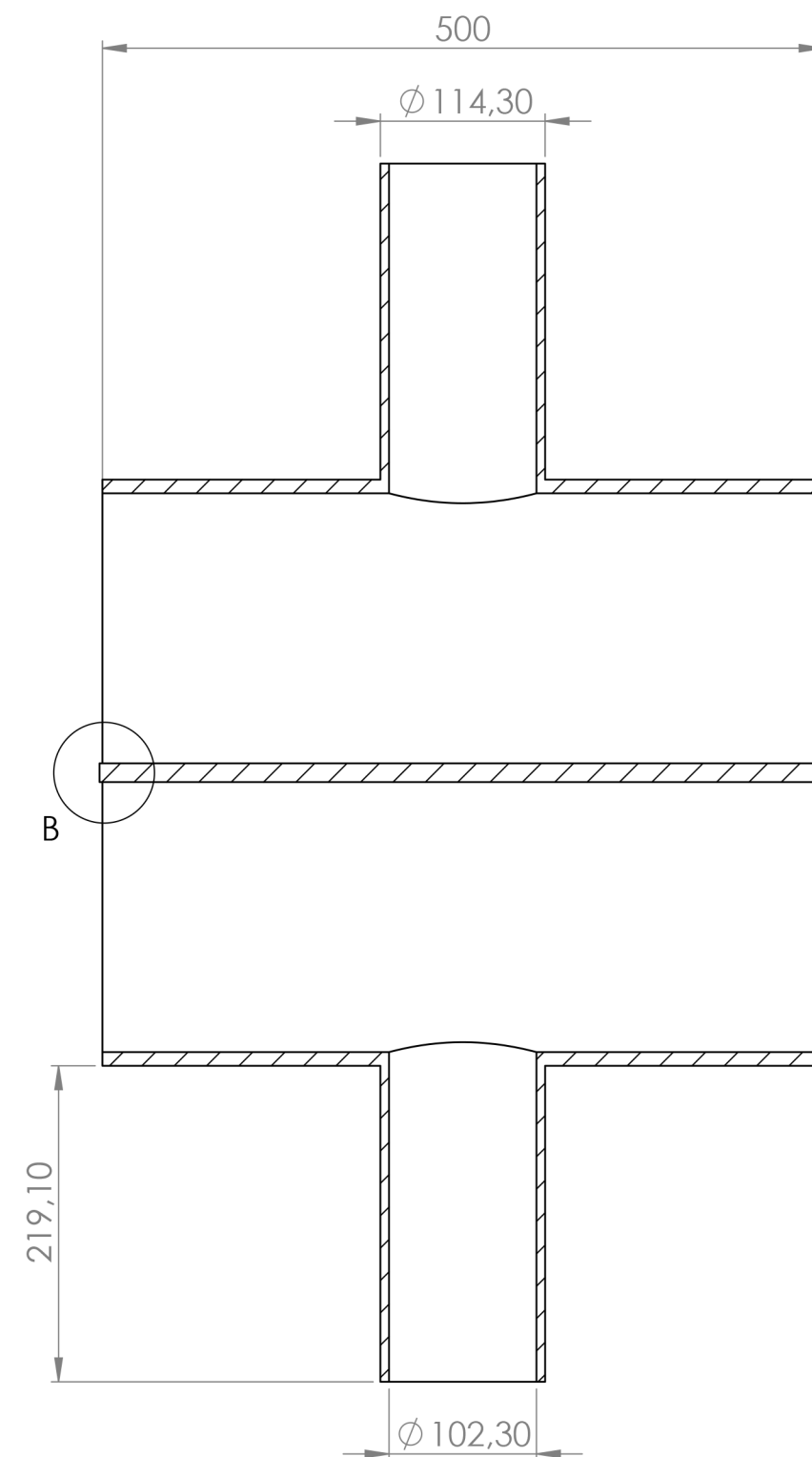
ESPECIFICACIONES	
Nº DE TUBOS	114
Nº DE BAFLES	26
Nº DE BARRAS DE SOPORTE	6



 UNIVERSIDADE DA CORUÑA ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR			
PROYECTO: DISEÑO INGENIERIL Y MECÁNICO DE RECUPERADORES DE CALOR EN MOTOR DIÉSEL PARA PLANTA DE COGENERACIÓN			
TÍTULO DE PLANO: INTERCAMBIADOR ACEITE-AGUA		FIRMA: 	ESCALA: 1:10 FECHA: DICIEMBRE 2018
AUTOR: BEGOÑA ESPÍNEIRA SICRE		Nº DE PLANO: 12	



DETALLE B
ESCALA 2 : 5



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 5

ESPECIFICACIONES	
MATERIAL	Acero Inoxidable 316
SOLDADURAS	TIPO SMAW

LEYENDA	
	SOLDADURAS



UNIVERSIDADE DA CORUÑA
ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR



PROYECTO: DISEÑO INGENIERIL Y MECÁNICO DE RECUPERADORES DE CALOR EN MOTOR
DIÉSEL PARA PLANTA DE COGENERACIÓN

TÍTULO DE PLANO: CABEZAL FRONTAL

AUTOR: BEGOÑA ESPÍNEIRA SICRE

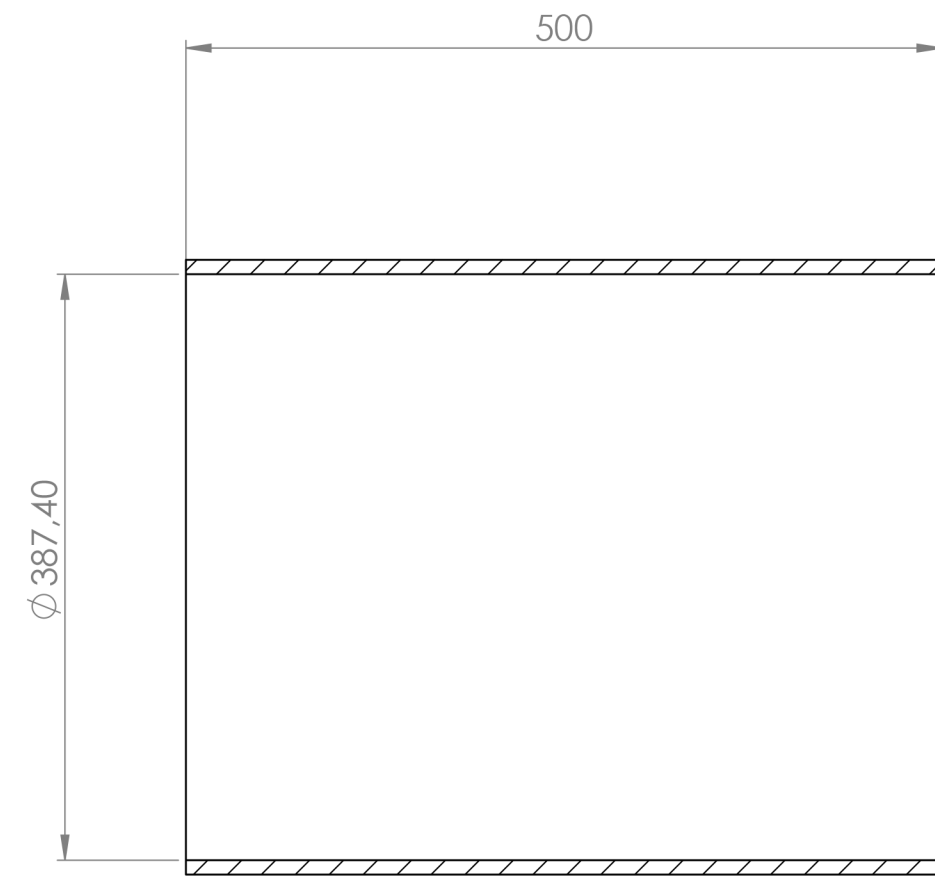
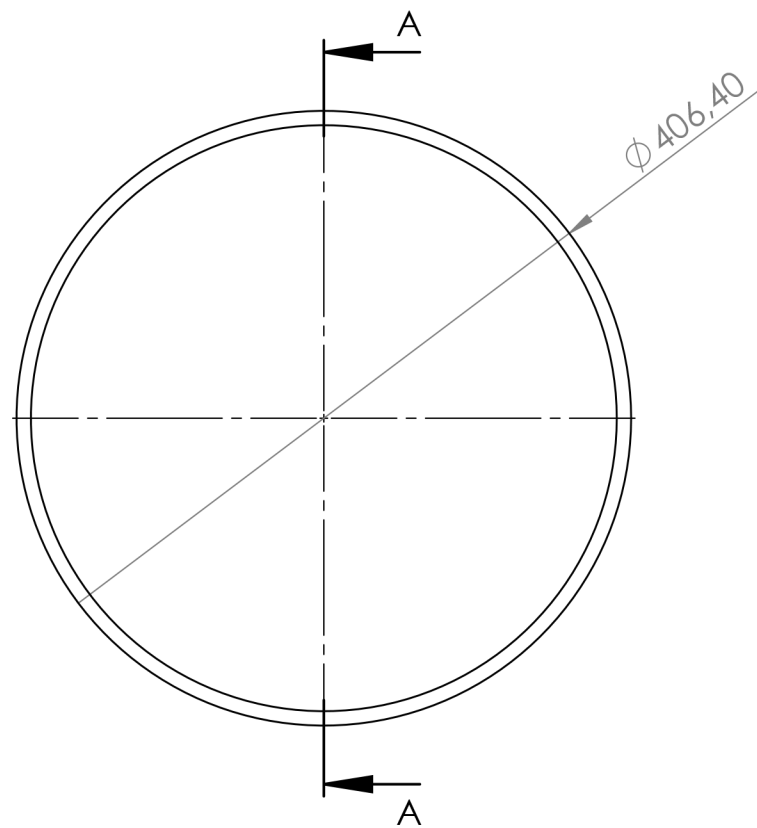
FIRMA:

ESCALA: 1:5

FORMATO: A3

FECHA: DICIEMBRE 2018

Nº DE PLANO: ①



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 5

ESPECIFICACIONES	
MATERIAL	Acero Inoxidable 316



UNIVERSIDADE DA CORUÑA
ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR



PROYECTO: DISEÑO INGENIERIL Y MECÁNICO DE RECUPERADORES DE CALOR EN MOTOR
DIÉSEL PARA PLANTA DE COGENERACIÓN

TÍTULO DE PLANO: CABEZAL POSTERIOR

FIRMA:

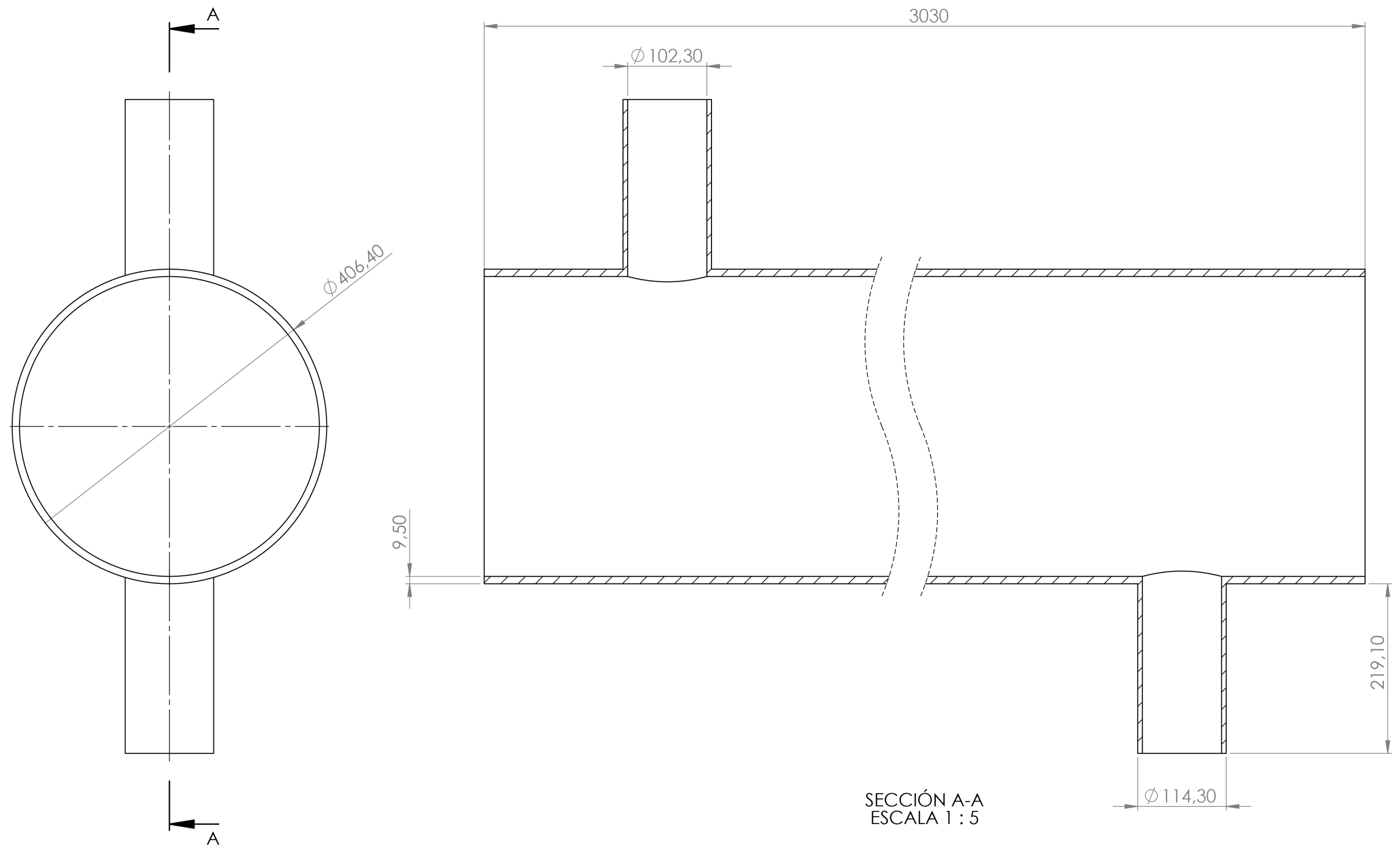
ESCALA: 1:5

FORMATO: A3

AUTOR: BEGOÑA ESPÍNEIRA SICRE

FECHA: DICIEMBRE 2018

Nº DE PLANO: ②



ESPECIFICACIONES	
MATERIAL	Acero Inoxidable 316



UNIVERSIDADE DA CORUÑA
ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR



PROYECTO: DISEÑO INGENIERIL Y MECÁNICO DE RECUPERADORES DE CALOR EN MOTOR
DIÉSEL PARA PLANTA DE COGENERACIÓN

TÍTULO DE PLANO: CABEZAL

FIRMA:

ESCALA: 1:5

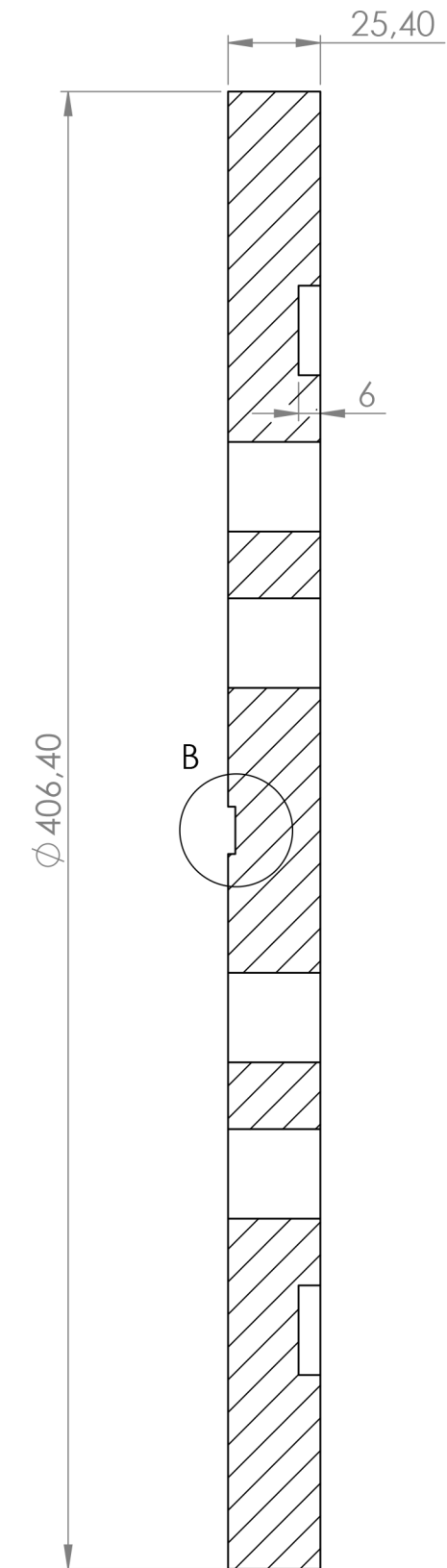
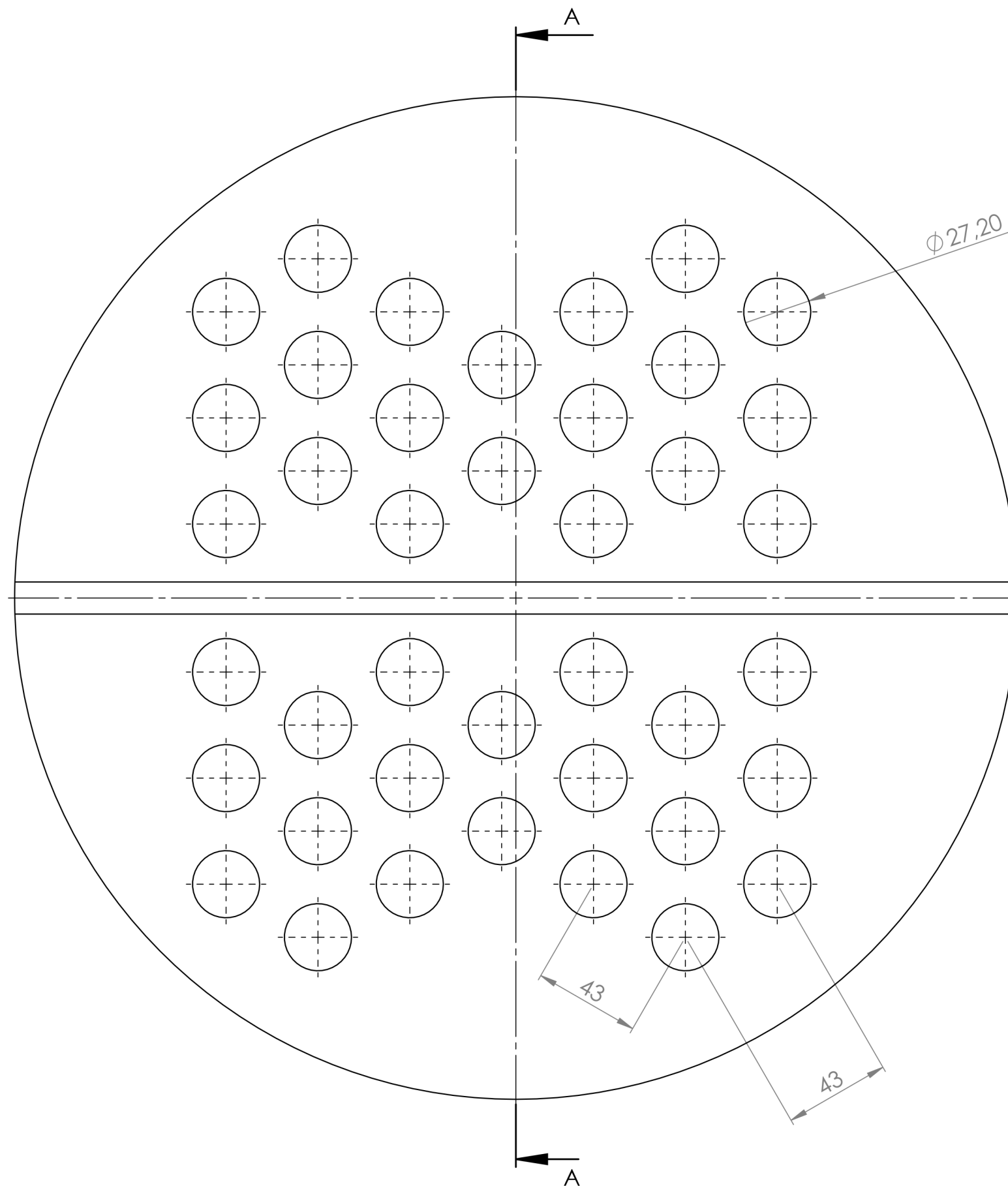
FORMATO: A3

AUTOR: BEGOÑA ESPÍNEIRA SICRE

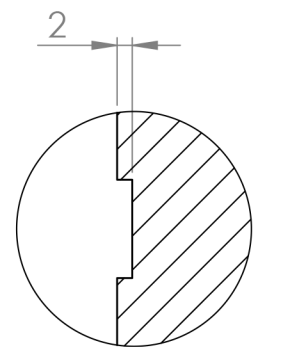
[Signature]

FECHA: DICIEMBRE 2018

Nº DE PLANO: ③



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 2



DETALLE B
ESCALA 1 : 1

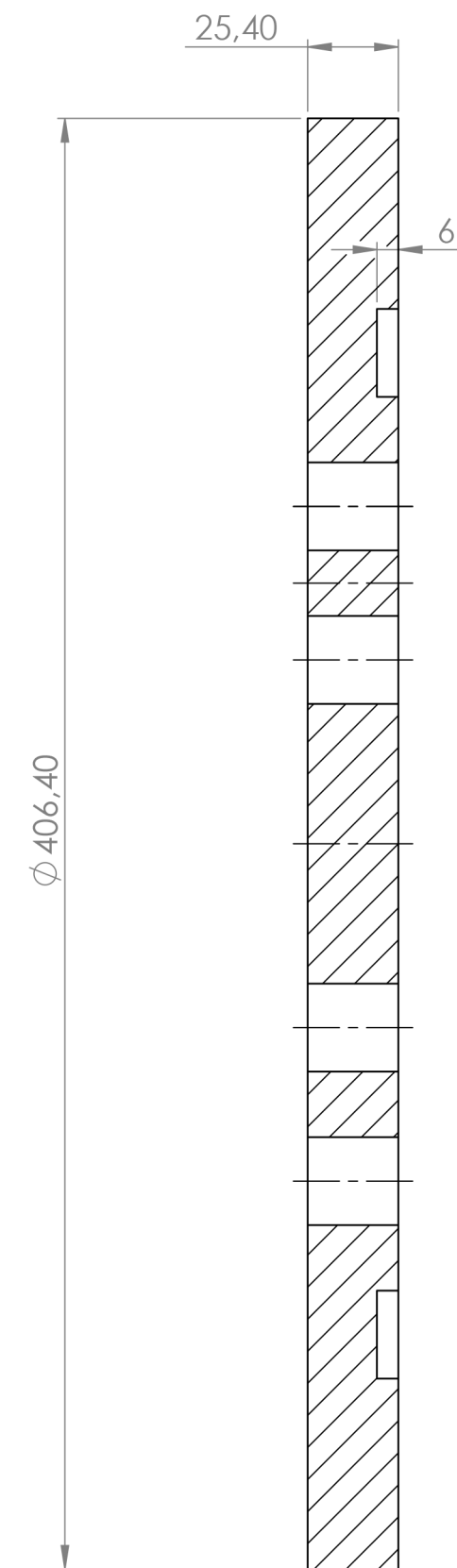
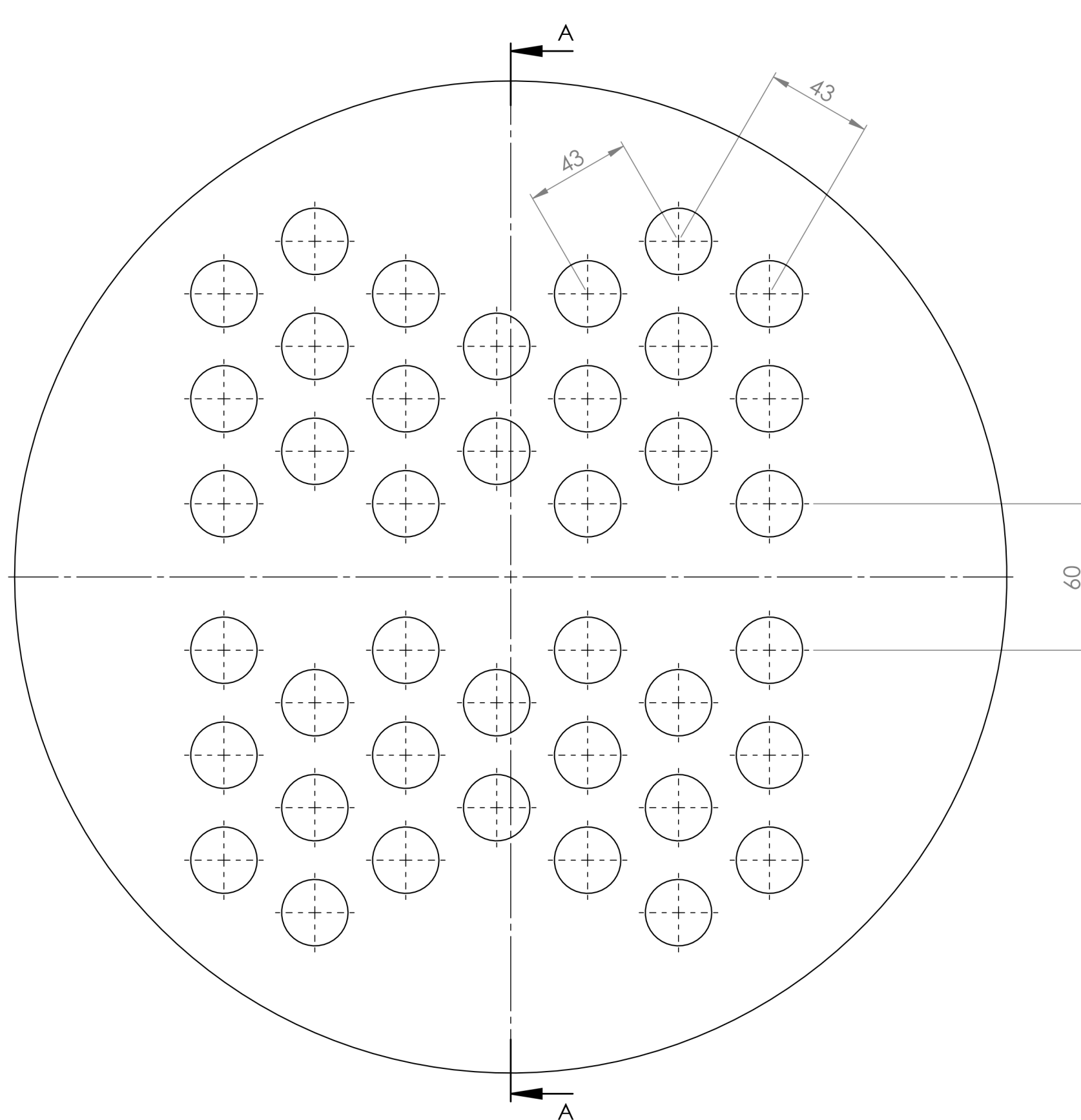
ESPECIFICACIONES	
MATERIAL	Acero Inoxidable 316
Nº DE TUBOS	40
Nº DE BARRAS DE SOPORTE	6



UNIVERSIDADE DA CORUÑA
ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR



PROYECTO: DISEÑO INGENIERIL Y MECÁNICO DE RECUPERADORES DE CALOR EN MOTOR DIÉSEL PARA PLANTA DE COGENERACIÓN			
TÍTULO DE PLANO: PLACA DE TUBOS FRONTAL	FIRMA: 	ESCALA: 1:2	FORMATO: A3
AUTOR: BEGOÑA ESPÍNEIRA SICRE		FECHA: DICIEMBRE 2018	
		Nº DE PLANO: ④	



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 2

ESPECIFICACIONES	
MATERIAL	Acero Inoxidable 316
Nº DE TUBOS	40
Nº DE BARRAS DE SOPORTE	6



UNIVERSIDADE DA CORUÑA
ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR



PROYECTO: DISEÑO INGENIERIL Y MECÁNICO DE RECUPERADORES DE CALOR EN MOTOR
DIÉSEL PARA PLANTA DE COGENERACIÓN

TÍTULO DE PLANO:
PLACA DE TUBOS POSTERIOR

AUTOR: BEGOÑA ESPÍNEIRA SICRE

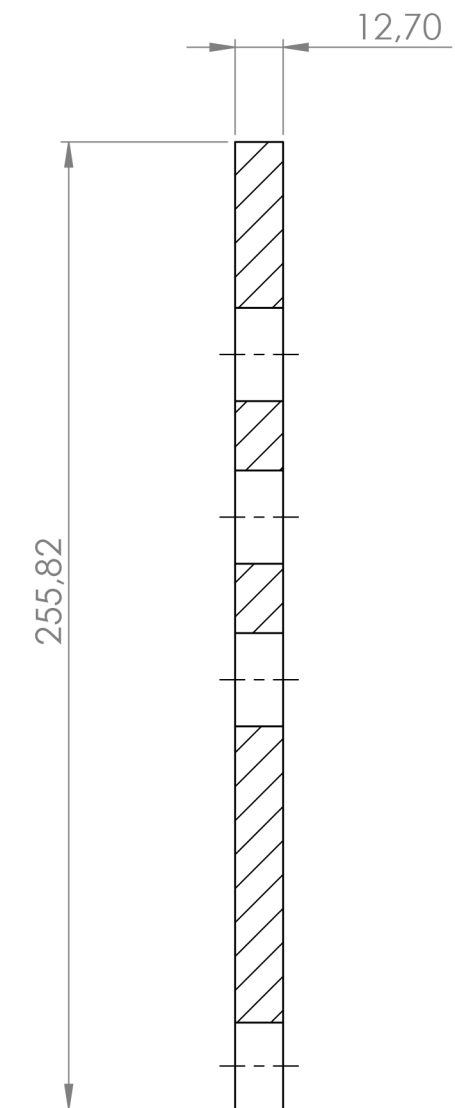
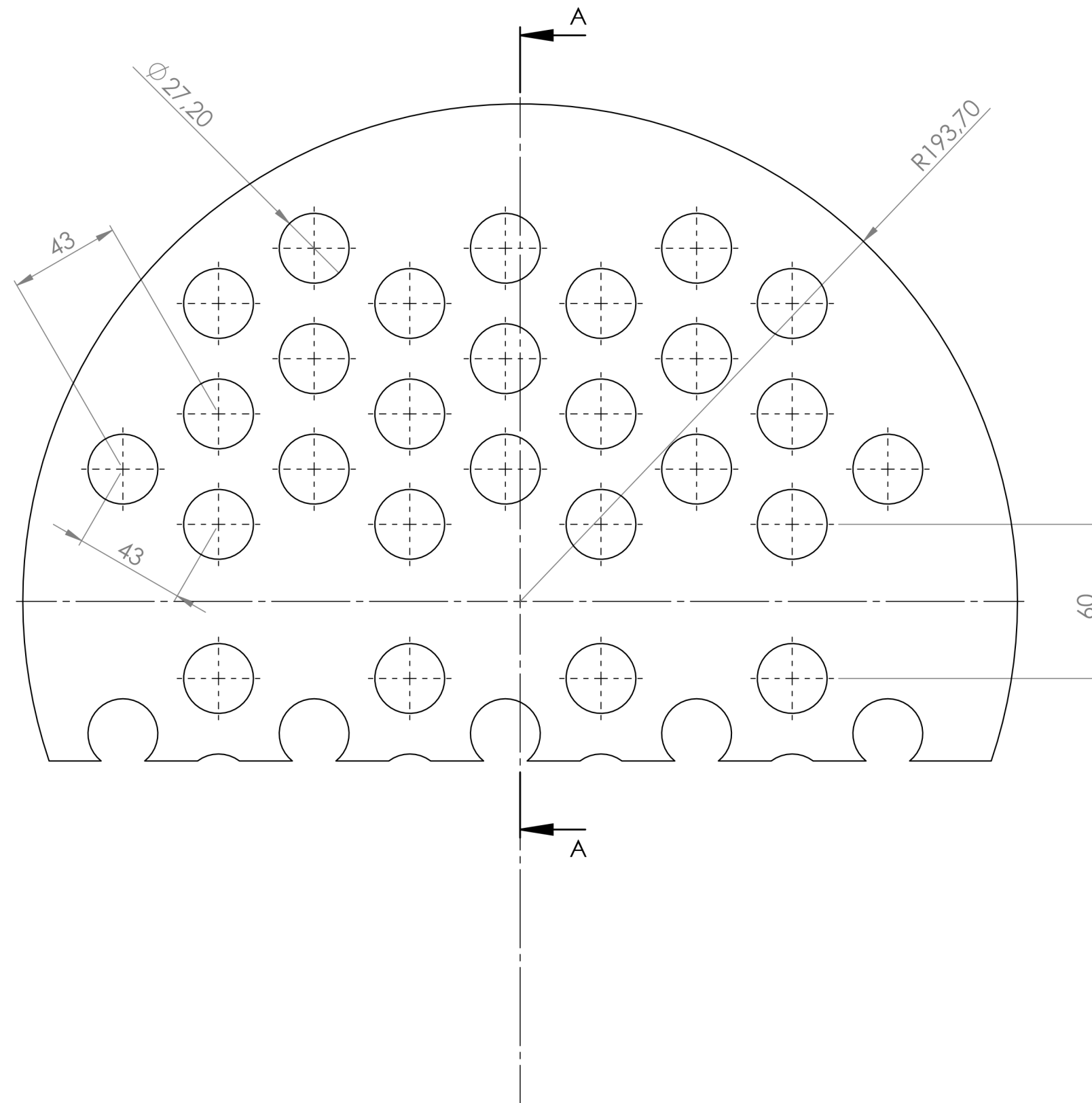
FIRMA:

ESCALA: 1:2

FORMATO: A3

FECHA: DICIEMBRE 2018

Nº DE PLANO: ⑤



SECCIÓN A-A

ESPECIFICACIONES	
MATERIAL	Acero Inoxidable 316
Nº DE TUBOS	40
Nº DE BARRAS DE SOPORTE	6
Nº DE BAFLES	44



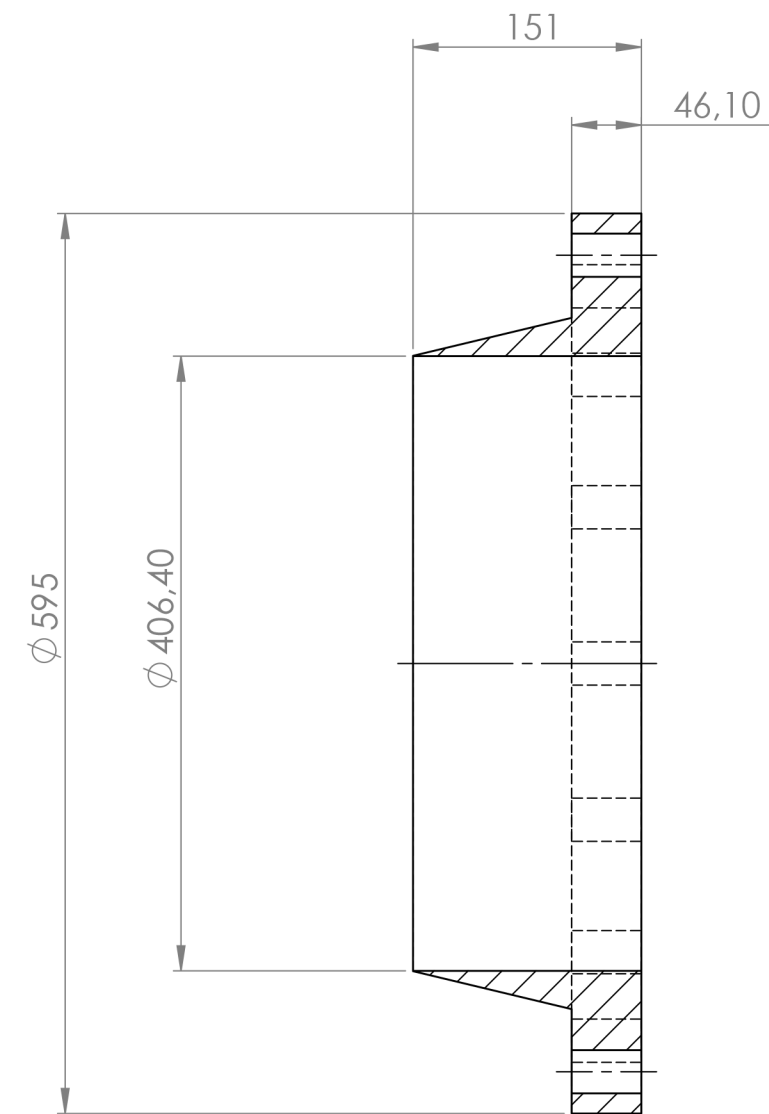
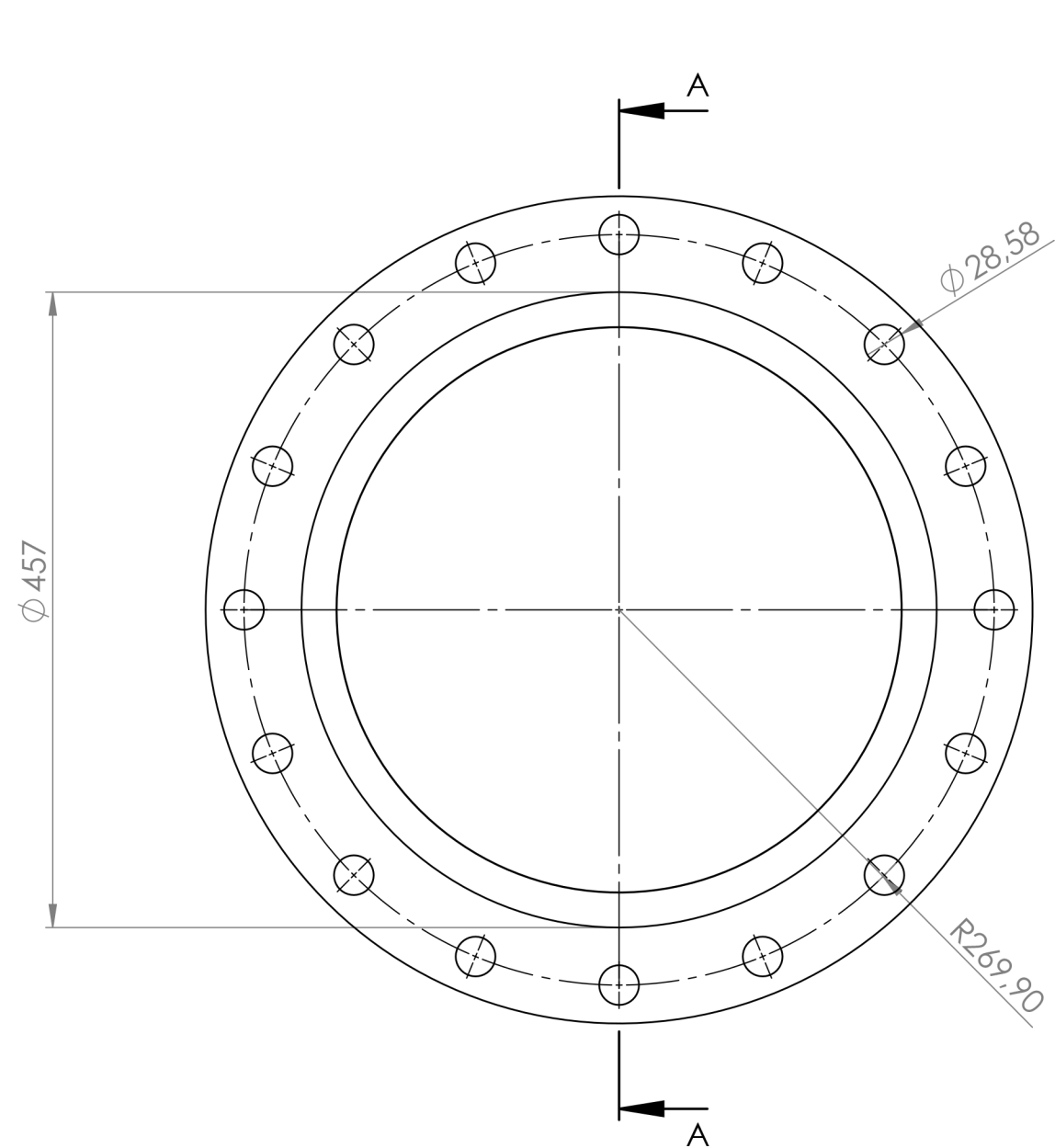
UNIVERSIDADE DA CORUÑA
ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR



PROYECTO: DISEÑO INGENIERIL Y MECÁNICO DE RECUPERADORES DE CALOR EN MOTOR
DIÉSEL PARA PLANTA DE COGENERACIÓN

TÍTULO DE PLANO: BAFLE FIRMA: ESCALA: 1:2 FORMATO: A3

AUTOR: BEGOÑA ESPÍNEIRA SICRE FECHA: DICIEMBRE 2018
Nº DE PLANO: ⑥



SECCIÓN A-A

ESPECIFICACIONES	
MATERIAL	Acero Inoxidable 316
Nº TALADROS	16
JUNTA	DURLON FMG316



UNIVERSIDADE DA CORUÑA
ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR



PROYECTO: DISEÑO INGENIERIL Y MECÁNICO DE RECUPERADORES DE CALOR EN MOTOR
DIÉSEL PARA PLANTA DE COGENERACIÓN

TÍTULO DE PLANO: BRIDA DE UNIÓN

FIRMA:

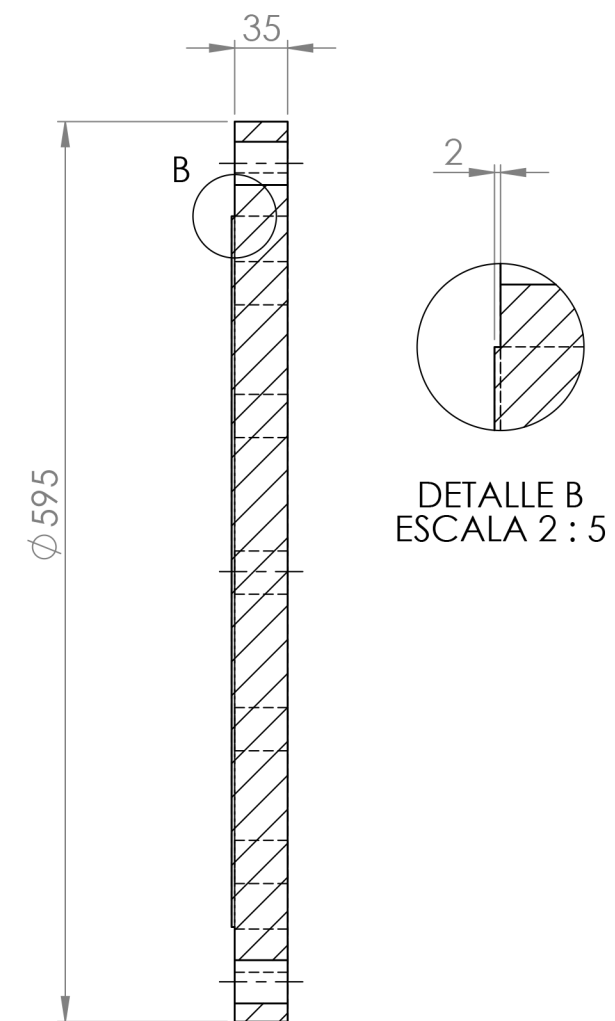
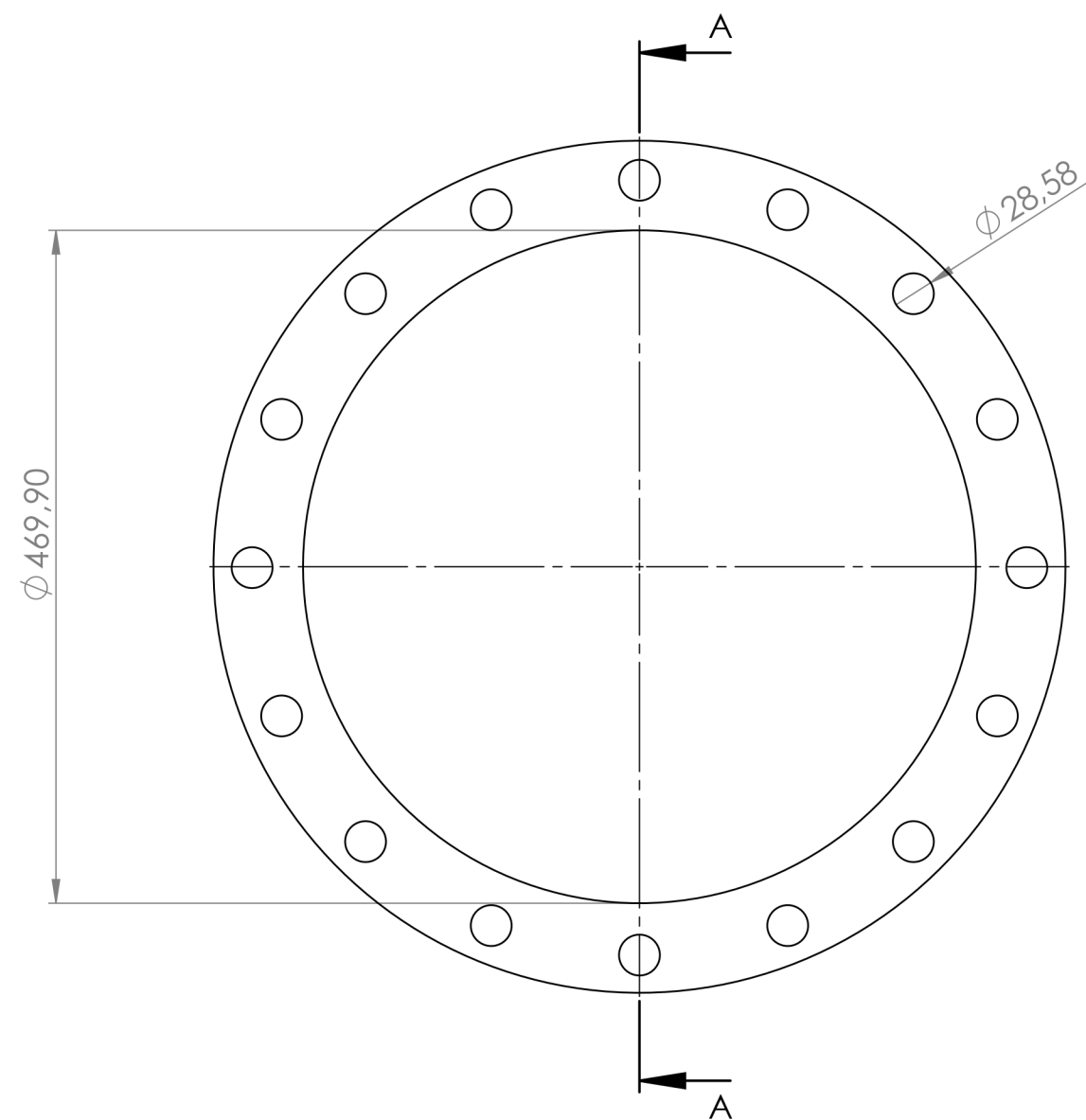
ESCALA: 1:5

FORMATO: A3

AUTOR: BEGOÑA ESPIÑEIRA SICRE

FECHA: DICIEMBRE 2018

Nº DE PLANO: 7



SECCIÓN A-A

ESPECIFICACIONES	
MATERIAL	Acero Inoxidable 316
Nº TALADROS	16
JUNTA	DURLON FMG316



UNIVERSIDADE DA CORUÑA
ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR



PROYECTO: DISEÑO INGENIERIL Y MECÁNICO DE RECUPERADORES DE CALOR EN MOTOR
DIÉSEL PARA PLANTA DE COGENERACIÓN

TÍTULO DE PLANO: BRIDA CIEGA

FIRMA:

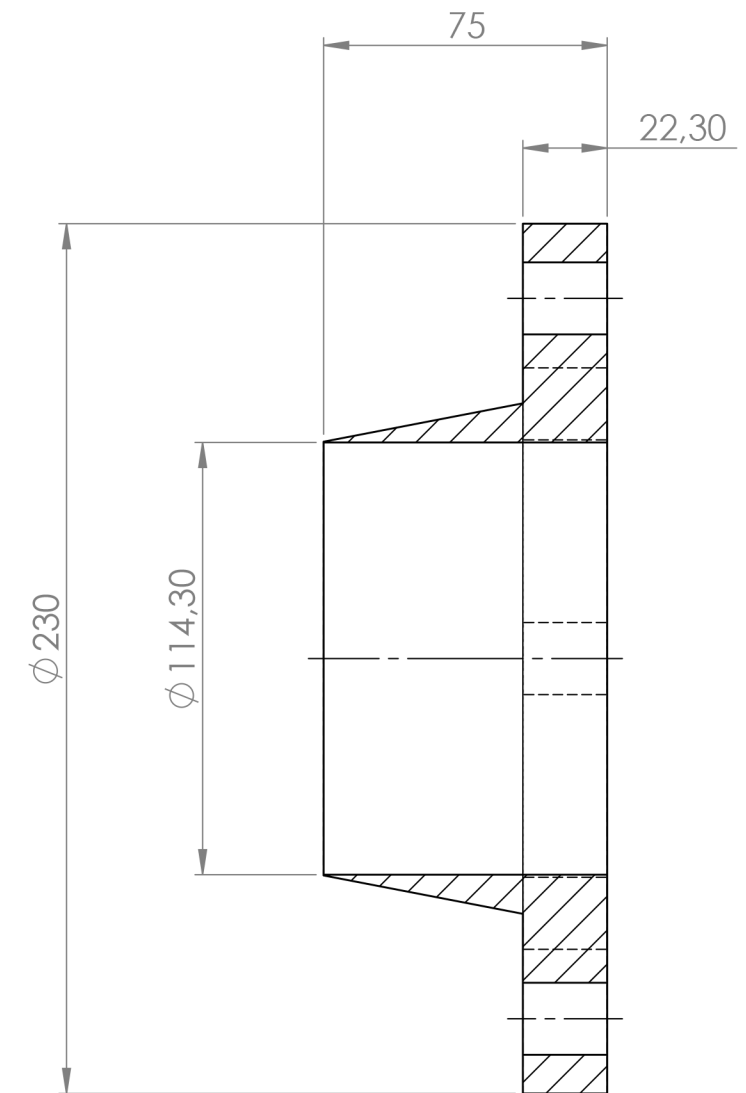
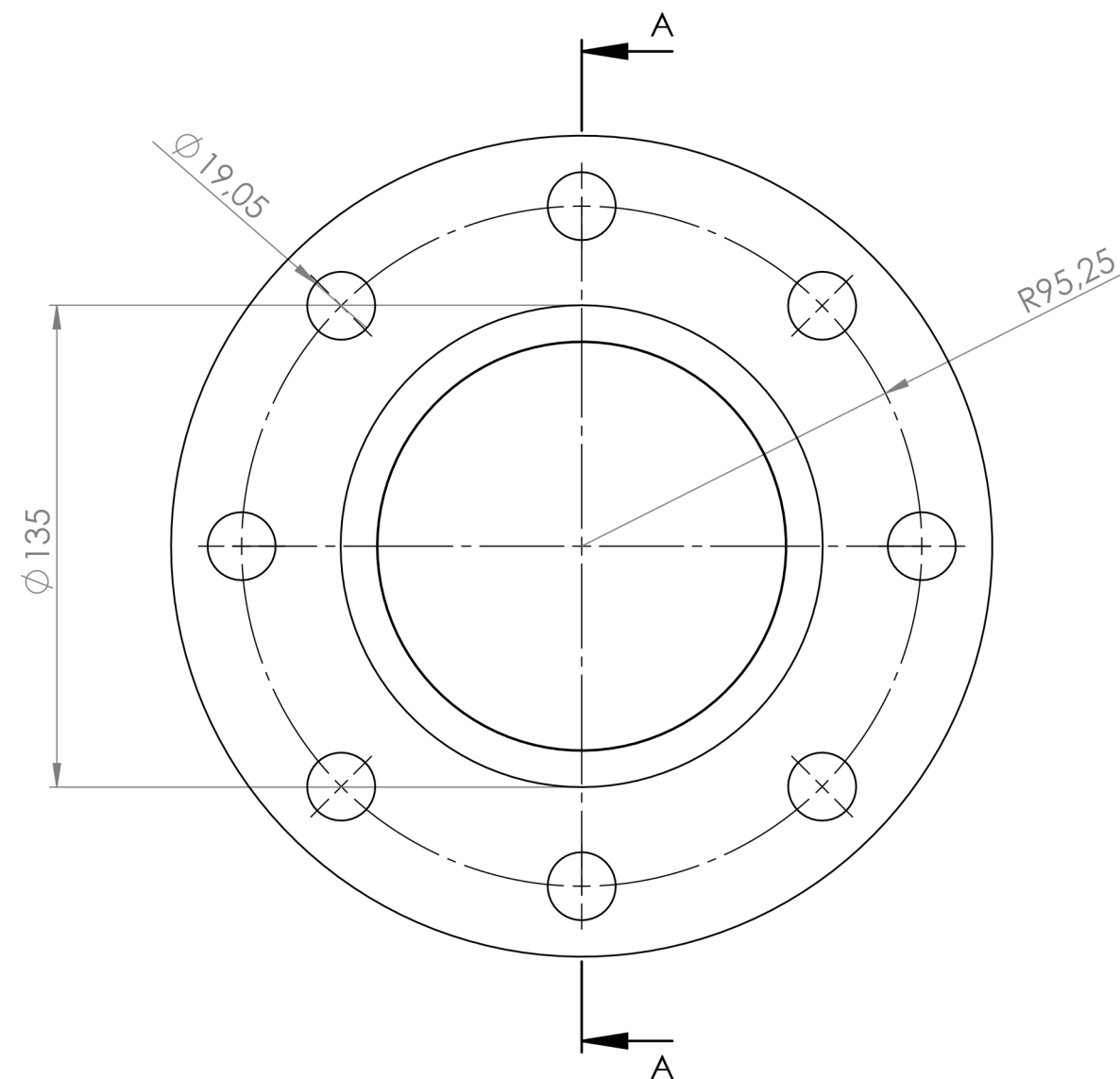
ESCALA: 1:5

FORMATO: A3

AUTOR: BEGOÑA ESPÍNEIRA SICRE

FECHA: DICIEMBRE 2018

Nº DE PLANO: ⑧



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 2

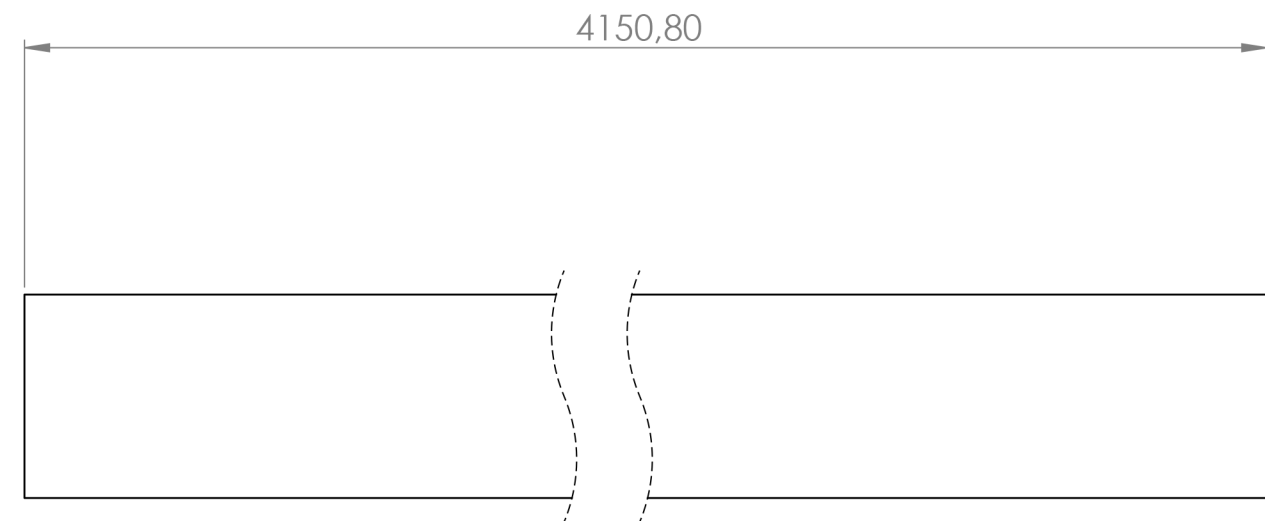
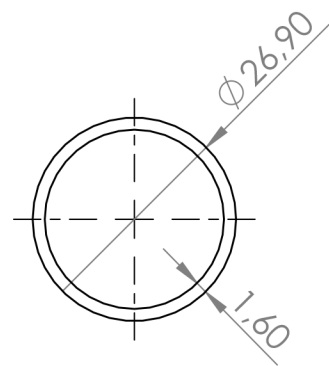
ESPECIFICACIONES	
MATERIAL	Acero Inoxidable 316
Nº TALADROS	8
JUNTA	DURLON FMG316



UNIVERSIDADE DA CORUÑA
ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR



PROYECTO: DISEÑO INGENIERIL Y MECÁNICO DE RECUPERADORES DE CALOR EN MOTOR DIÉSEL PARA PLANTA DE COGENERACIÓN			
TÍTULO DE PLANO: BRIDA DE CONEXIÓN	FIRMA: 	ESCALA: 1:2	FORMATO: A3
AUTOR: BEGOÑA ESPIÑEIRA SICRE		FECHA: DICIEMBRE 2018	Nº DE PLANO: 9



ESPECIFICACIONES	
MATERIAL	Acero Inoxidable 316
Nº DE TUBOS	40



UNIVERSIDADE DA CORUÑA
ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR



PROYECTO: DISEÑO INGENIERIL Y MECÁNICO DE RECUPERADORES DE CALOR EN MOTOR
DIÉSEL PARA PLANTA DE COGENERACIÓN

TÍTULO DE PLANO: TUBO

FIRMA:

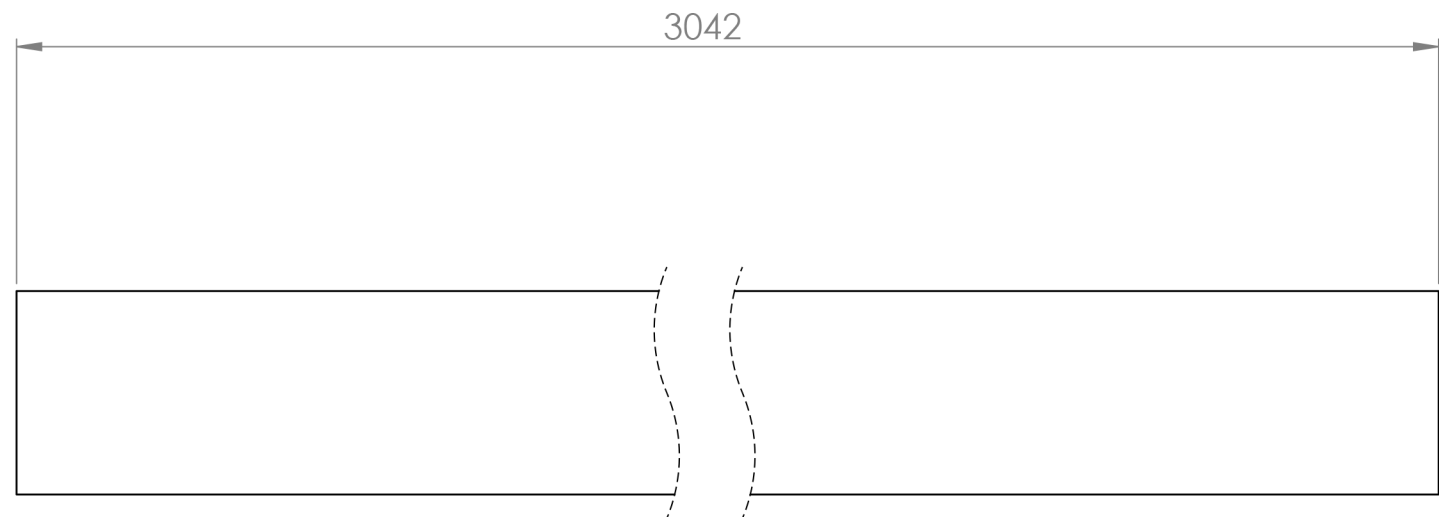
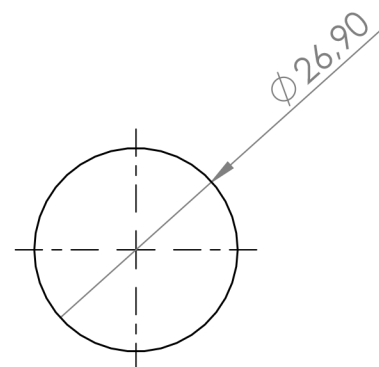
ESCALA: 1:1

FORMATO: A3

AUTOR: BEGOÑA ESPIÑEIRA SICRE

FECHA: DICIEMBRE 2018

Nº DE PLANO: 10



ESPECIFICACIONES	
MATERIAL	Acero Inoxidable 316
Nº DE BARRAS DE SOPORTE	6



UNIVERSIDADE DA CORUÑA
ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR



PROYECTO: DISEÑO INGENIERIL Y MECÁNICO DE RECUPERADORES DE CALOR EN MOTOR
DIÉSEL PARA PLANTA DE COGENERACIÓN

TÍTULO DE PLANO: BARRA DE SOPORTE

FIRMA:

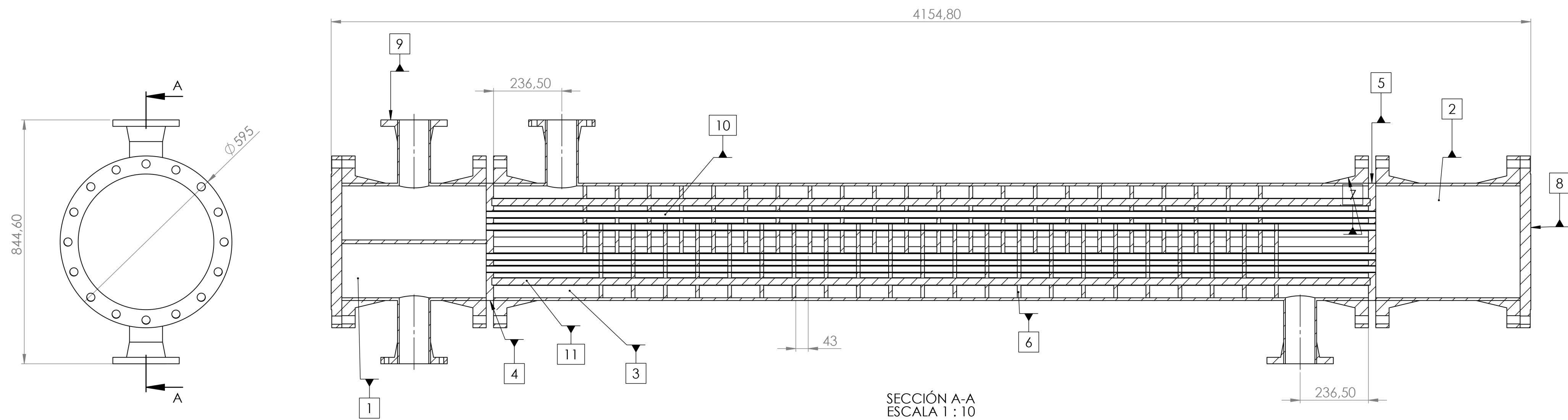
ESCALA: 1:1

FORMATO: A3

AUTOR: BEGOÑA ESPÍNEIRA SICRE

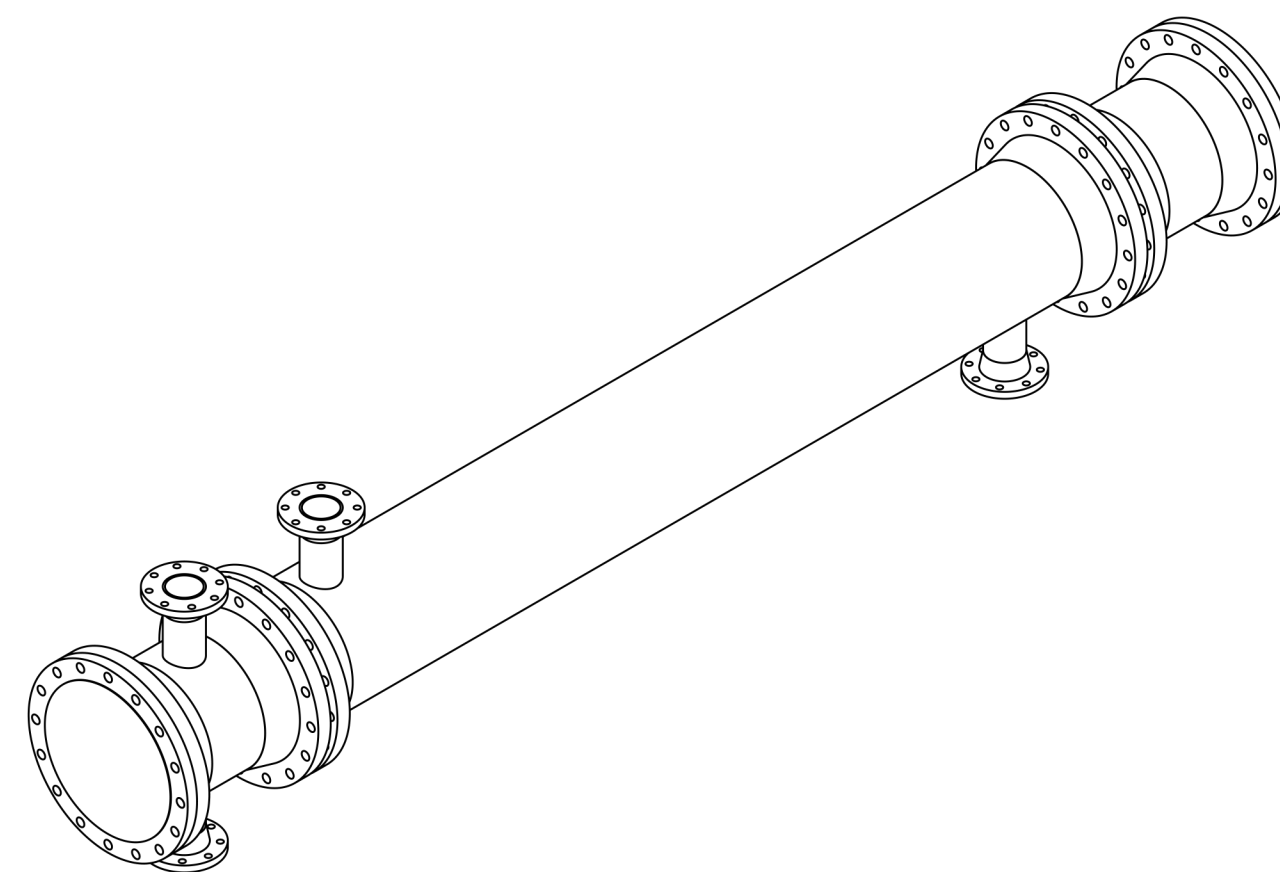
FECHA: DICIEMBRE 2018




Nº DE PLANO: 11



LEYENDA	
1	CABEZAL FRONTAL
2	CABEZAL POSTERIOR
3	CARCASA
4	PLACA DE TUBOS FRONTAL
5	PLACA DE TUBOS POSTERIOR
6	BAFLE
7	BRIDA DE UNIÓN
8	BRIDA CIEGA
9	BRIDA DE CONEXIÓN
10	TUBO
11	BARRA DE SOPORTE

ESPECIFICACIONES	
Nº DE TUBOS	40
Nº DE BAFLES	44
Nº DE BARRAS DE SOPORTE	6



		UNIVERSIDADE DA CORUÑA ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR		
PROYECTO: DISEÑO INGENIERIL Y MECÁNICO DE RECUPERADORES DE CALOR EN MOTOR DIÉSEL PARA PLANTA DE COGENERACIÓN				
TÍTULO DE PLANO: INTERCAMBIADOR AGUA-AGUA		FIRMA: 	ESCALA: 1:10	FORMATO: A2
AUTOR: BEGOÑA ESPÍNEIRA SICRE		FECHA: DICIEMBRE 2018		
		Nº DE PLANO: 12		



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO
CURSO 2018/19**

*DISEÑO INGENIERIL Y MECÁNICA DE
RECUPERADORES DE CALOR EN MOTOR
DIÉSEL PARA PLANTA DE COGENERACIÓN*

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

DOCUMENTO III: PLIEGO DE CONDICIONES

Índice

1. Objeto	4
2. Condiciones Generales	5
2.1 Obras que se proyectan-disposiciones	5
2.2 Definiciones	5
2.2.1 Propietario	5
2.2.2 Contratista	5
2.2.3 Subcontratista	5
2.2.4 Director de obra	6
2.2.5 Dirección facultativa	6
2.3 Dirección y ejecución de los trabajos	6
2.4 Obligaciones y responsabilidad del contratista	6
2.5 Personal y medios auxiliares	6
2.6 Revisión de materiales	7
2.7 Obras no previstas	7
2.8 Calidad de los materiales	7
2.9 Planos y esquemas	7
2.10 Libro de órdenes	7
3. Condiciones Técnicas	8
3.1 Instalación mecánica	8
3.1.1 Tubos	8
4. Condiciones legales	9
4.1 Responsabilidades y seguridad laboral	9
4.2 Capacidad para contratar	9
4.3 Árbitros	11
5. Condiciones económicas	12
5.1 Precios y revisión de precios	12
5.1.1 Composición de los precios unitarios	12
5.2 Métodos de pago	13
5.2.1 Valoración y abono de los trabajos	13
5.2.2 Abono de los trabajos especiales no contratados	13
5.2.3 Pago de árbitros	13
5.3 Garantías, fianzas y avales	13
5.4 Penalizaciones	14
5.4.1 Penalizaciones por baja calidad	14
5.4.2 Desperfectos en la propiedad	14
5.4.3 Replanteos	14

1. OBJETO

El Pliego de Condiciones del presente proyecto tiene como objeto servir de base para la realización de las obras descritas en la Memoria, sus anejos, Planos y Presupuesto de este, además de todo lo indicado por la Dirección Facultativa. Todo cuanto se refiera a condiciones económicas, legales o facultativas que deban seguirse en la obra se ajustará a este documento.

2. CONDICIONES GENERALES

El presente Pliego de Condiciones Generales tiene por finalidad regular la ejecución de todas las obras e instalaciones que integran el proyecto en el que se incluye, así como aquellas que estime conveniente su realización la Dirección Facultativa del mismo, estableciendo los niveles técnicos y de calidad exigibles, precisando aquellas actuaciones que correspondan según el contrato y con arreglo a la legislación aplicable, al Propietario de la obra, al Contratista o constructor de la misma, sus técnicos y encargados, al Ingeniero, así como las relaciones entre todos ellos y sus correspondientes obligaciones para el cumplimiento del contrato de obra.

El Contratista se atenderá en todo momento a lo expuesto en el mismo en cuanto a la calidad de los materiales empleados, ejecución, material de obra, precios, medición y abono de las distintas partes de obra.

En referencia a la interpretación de este, en caso de oscuridad o divergencia, se atenderá a lo dispuesto por la Dirección Facultativa, y en todo caso a las estipulaciones y cláusulas establecidas por las partes contratantes.

2.1 Obras que se proyectan-disposiciones

Las obras que se proyectan son las que se especifican en la Memoria y sus anexos, planos y presupuesto, y las necesarias para dejar totalmente terminadas las obras objeto de este proyecto.

Cualquier excepción o modificación de lo establecido en el Pliego requerirá la notificación por escrito y la aprobación correspondiente al propietario.

2.2 Definiciones

En el contexto de este Pliego de Condiciones, se establecen las siguientes definiciones:

2.2.1 Propietario

Se entenderá por Propietario a aquel para el que el Contratista (definido a continuación) ejecutará los trabajos. Esta definición se extiende a los apoderados del Propietario y a sus representantes legales.

2.2.2 Contratista

Es la persona natural o jurídica, cuya oferta fue aceptada por el Propietario, y con quien ha firmado el correspondiente contrato de ejecución. Comprende, asimismo, a sus representantes legales, apoderados y sucesores expresamente aceptados por aquel.

2.2.3 Subcontratista

Es toda persona, natural o jurídica, que tiene una relación contractual no laboral con el Contratista para ejecutar cualquier trabajo o prestar algún servicio, suministro o aprovisionamiento en relación con las obras, sin vinculación alguna con el Propietario, ante quien responderá por la actuación de aquel.

2.2.4 Director de obra

Es la persona natural o jurídica designada por el Propietario para realizar las funciones de dirección de obra previstas, cuyo nombramiento será notificado por escrito al Contratista.

2.2.5 Dirección facultativa

Estará formada por el Ingeniero-director y por aquellas personas tituladas o no, que al objeto de auxiliar al Ingeniero-director en la realización de su cometido, ejerzan, siempre bajo las órdenes directas de éste, funciones de control y vigilancia, así como las específicas por él encomendadas.

2.3 Dirección y ejecución de los trabajos

La dirección Facultativa podrá disponer la suspensión de la obra, al observar anomalías o considerar que los trabajos no se ajustan a lo proyectado, pudiendo la Dirección Facultativa ordenar la demolición y sustitución de la obra ejecutada, siendo todos los gastos que se originen por cuenta de la Empresas Instaladoras.

La propiedad y la Dirección Facultativa, se reservan el derecho de exigir la sustitución en la obra del personal de la Empresas Instaladoras que diera lugar a quejas fundadas o que no reúna las condiciones de aptitud suficientes a juicio de la Dirección Facultativa.

2.4 Obligaciones y responsabilidad del contratista

El contratista queda sometido al cumplimiento de las prescripciones técnicas contenidas en este Pliego de Condiciones. Si los trabajos exigiesen su realización por personal especializado, la Dirección Facultativa, podrá en todo momento solicitar al contratista la presentación de los documentos necesarios que acrediten la adecuada titulación del personal.

En la ejecución de las obras que se hayan contratado, la empresa contratista será la única responsable, no teniendo en derecho a indemnización alguna por el mayor precio que pudiera costarle o por las erróneas maniobras que cometiese durante su construcción, siendo por su cuenta y riesgo e independiente de la inspección de la Dirección Facultativa.

Asimismo, el contratista será responsable de los accidentes que pudieran sobrevenir a todo el personal, debiendo atenerse a las disposiciones de la Policía Urbana y Leyes comunes sobre la materia, Reglamentación de Seguridad e Higiene en el trabajo, etc., y lo mismo para cualquier persona con autorización para entrar en la obra.

2.5 Personal y medios auxiliares

Será obligación de la Contrata disponer con la suficiente antelación de toda clase de personal cualificado, debiéndolo sustituir cuando, a juicio de la Dirección Facultativa, no reúna las características de trabajo que se le encomiende o carezca de las condiciones precisas para la convivencia en el trabajo que le corresponda.

El personal estará dado de alta en la Seguridad Social y deberá disponer de los correspondientes equipos de protección individual.

2.6 Revisión de materiales

Todos los materiales empleados en las obras reunirán las características exigidas en este Pliego de Condiciones, sin que su examen de aprobación represente su recepción definitiva, ya que cualquier defecto observado después de su puesta en obra, obliga a su sustitución por otros en buenas condiciones, sin derecho a abono alguno. En caso de dudas siempre se deberá preguntar a la dirección facultativa.

2.7 Obras no previstas

Solamente son objeto de este contrato las obras comprendidas en los documentos de este Proyecto. No obstante, el contratista está obligado a ejecutar todas las reformas que ordene la Dirección Facultativa, como ampliación o mejoras.

2.8 Calidad de los materiales

En caso de que, por alguna circunstancia, no pudieran encontrarse los materiales que figuran en presente Proyecto, estos podrán ser sustituidos por otros de igual calidad, previa aprobación de la Dirección Facultativa. En caso de ser de inferior calidad, se descontará la diferencia de precio que hubiera.

2.9 Planos y esquemas

Las obras se ajustarán en cuanto a dimensiones, cálculos, distribuciones y construcción a los planos de este proyecto, no pudiendo realizar ninguna variación sin el consentimiento de la Dirección Facultativa.

La ausencia o falta de mediciones de los planos se deben a criterios de confidencialidad del propietario que, una vez adjudicada la obra, el contratista deberá consultar y verificar con la dirección facultativa.

2.10 Libro de órdenes

Se dispondrá en la propia obra de un Libro de Órdenes, en donde se recogerán todas las incidencias, modificaciones, aclaraciones, etc., que surjan durante el desarrollo de los trabajos.

El Director de Obra, en ejercicio de sus atribuciones, velará por el cumplimiento de los requisitos especificados en proyecto, así como de las exigencias de las disposiciones legales que sean de aplicación, y en especial aquellas que afecten al buen funcionamiento de las instalaciones y a la seguridad de las personas.

El Libro de Órdenes, como instrumento destinado a garantizar estos extremos, dejará constancia del desarrollo de la obra, conteniendo las firmas de la Dirección Facultativa y de quienes ejerzan como promotores, empleando a tal efecto cuantas copias fueran necesarias.

3. CONDICIONES TÉCNICAS

El pliego de condiciones técnicas tiene por objeto determinar las calidades y características de los elementos que se utilizarán en el desmantelamiento de la instalación actual y en el montaje de la nueva.

En todo lo aquí no señalado regirá el Pliego de Condiciones general que figura en el proyecto de obra.

El Director de Obra deberá eliminar cualquier elemento que no cumpla con la presente especificación, tanto en lo referente a los materiales, como en normativa.

3.1 Instalación mecánica

3.1.1 Tubos

Las tuberías que forman parte de las instalaciones receptoras han de ser de acero inoxidable 316, según la norma ASME.

3.1.1.1 Características: diámetros, longitudes y espesores

Las medidas de los accesorios de inoxidable serán acordes con las características dimensionales del tubo al que se han de unirse. Los accesorios para realizar soldadura con orbital y los de soldadura manual deberán ser compatibles con el tubo al que han de soldarse.

3.1.1.2 Uniones

La unión de los tubos de acero inoxidable 316 se realizará por soldadura de aportación. En todos los casos posibles, se realizarán las soldaduras mediante orbital para garantizar las uniones. Cuando no sea posible, las soldaduras se realizarán de forma manual por arco eléctrico.

Los accesorios para la ejecución de uniones, derivaciones, codos, curvas, etc., mediante soldadura, estarán fabricados con inoxidable 316 de las mismas características que las del tubo al que han de unirse mediante soldadura manual o con orbital.

Las uniones de los tubos entre sí y de éstos con los accesorios, se harán de acuerdo con los materiales en contacto y de modo que la ejecución de las operaciones se lleve a cabo de forma que no se llegue a provocar pérdidas de estanqueidad en las uniones.

El procedimiento de la unión mediante soldadura por arco eléctrico consiste en fundir un material de aporte con el calor aparecido de un arco eléctrico entre el electrodo (material de aporte) y las piezas a unir. En este tipo de soldadura las piezas a unir son de acero inoxidable.

La soldadura con orbital consiste en el proceso de soldar circularmente una pieza cilíndrica fija o fijada en un soporte (conductos, tuberías, etc.). Para este propósito, la antorcha se desplaza sobre una guía y recorre la pieza de manera circular. Con esta técnica se esperan resultados reproducibles y de alta calidad, por esta razón normalmente se emplea el método de soldadura SMAW.

4. CONDICIONES LEGALES

En el presente apartado se describen las condiciones legales bajo las que se ejecutará el proyecto.

4.1 Responsabilidades y seguridad laboral

Todas las empresas subcontratadas deberán nombrar y certificar a una persona que será el recurso preventivo durante la realización y construcción de este proyecto. Dicha persona se encargará de revisión y divulgación de las normativas de seguridad relacionadas con el proyecto y de su cumplimiento y deberá disponer de los cursos que acrediten su función.

Además, toda persona que trabaje para éste queda sujeta a:

- La responsabilidad civil será exigible en forma personal e individualizada, tanto por actos u omisiones propios, como por actos u omisiones de personas por las que se deba responder.
 - No obstante, cuando pudiera individualizarse la causa de los daños materiales o quedase debidamente probada la concurrencia de culpas sin que pudiera precisarse el grado de intervención de cada agente en el daño producido, la responsabilidad se exigirá solidariamente.
- Cuando el proyecto haya sido contratado conjuntamente, con más de un proyectista, los mismos responderán solidariamente.
- Los proyectistas que contraten los cálculos, estudios, dictámenes o informes de otros profesionales, serán directamente responsables de los daños que puedan derivarse de su insuficiencia, incorrección o inexactitud, sin perjuicio de la repetición que pudieran ejercer contra sus autores.
- Cuando el director facultativo subcontrate con otras personas físicas o jurídicas la ejecución de determinadas partes o instalaciones, será directamente responsable de los daños materiales por vicios o defectos de su ejecución, sin perjuicio de la repetición a que hubiere lugar.
- Quien acepte la dirección cuyo proyecto no haya elaborado él mismo, asumirá las responsabilidades derivadas de las omisiones, deficiencias o imperfecciones del proyecto, sin perjuicio de la repetición que pudiese corresponderle frente al proyectista.

4.2 Capacidad para contratar

- Podrán contratar las personas naturales o jurídicas, españolas o extranjeras que, teniendo plena capacidad de obrar, no se hallen privadas por parte del Estado ni tengan faltas pendientes con la justicia.
- Las empresas deberán ser personas físicas o jurídicas cuya finalidad o actividad tenga relación directa con el objeto del contrato, según

resulte de sus respectivos estatutos o reglas fundacionales y dispongan de una organización con elementos personales y materiales suficientes para la debida ejecución del contrato.

- Las empresas no españolas de Estados miembros de la Unión Europea deberán acreditar su capacidad de obrar mediante certificación de inscripción.
- Las restantes empresas extranjeras deberán acreditar su capacidad de obrar mediante informe expedido por la Misión Diplomática Permanente u Oficina Consular de España del lugar del domicilio de la empresa, en la que se haga constar, previa acreditación por la empresa, que figuran inscritas en el Registro local profesional o comercial.

Además de los requisitos reseñados, los licitadores deberán acreditar su solvencia económica, financiera y técnica a través de los medios que se reseñan a continuación:

- Económica y financiera:
 - Cuentas anuales presentadas en el Registro Mercantil o en el Registro oficial que corresponda. Los empresarios no obligados a presentar las cuentas en Registros oficiales podrán aportar, como medio alternativo de acreditación, los libros de contabilidad debidamente legalizados.
 - Declaración sobre el volumen global de negocios y, en su caso, sobre el volumen de negocios en el ámbito de actividades correspondiente al objeto del contrato, referido como máximo a los tres últimos ejercicios disponibles en función de la fecha de creación o de inicio de las actividades del empresario, en la medida en que se disponga de las referencias de dicho volumen de negocios.
 - Si, por una razón justificada, el empresario no está en condiciones de presentar las referencias solicitadas, se le autorizará a acreditar su solvencia económica y financiera por medio de cualquier otro documento que se considere apropiado por el órgano de contratación.
 - Los empresarios que sean personas naturales deberán aportar, asimismo, copia o fotocopia legalizada de la Declaración del Impuesto sobre la Renta de las Personas Físicas de los dos últimos ejercicios presentados.
- Técnica (por uno de los siguientes medios):
 - Relación de los principales suministros efectuados durante los tres últimos años, indicando su importe, fechas y destinatario público o privado de los mismos. Los suministros efectuados se acreditarán mediante certificados expedidos o visados por el órgano competente, cuando el destinatario sea una entidad del sector público o cuando el destinatario sea un comprador privado, mediante un certificado expedido por éste o, a falta de este certificado, mediante una declaración del empresario.

- Indicación del personal técnico o unidades técnicas, integradas o no en la empresa, de los que se disponga para la ejecución del contrato, especialmente los encargados del control de calidad.
- Descripción de las instalaciones técnicas, de las medidas empleadas para garantizar la calidad y de los medios de estudio e investigación de la empresa.
- Control efectuado por la entidad del sector público contratante o, en su nombre, por un organismo oficial competente del Estado en el cual el empresario está establecido, siempre que medie acuerdo de dicho organismo, cuando los productos a suministrar sean complejos o cuando, excepcionalmente, deban responder a un fin particular. Este control versará sobre la capacidad de producción del empresario y, si fuera necesario, sobre los medios de estudio e investigación con que cuenta, así como sobre las medidas empleadas para controlar la calidad.
- Muestras, descripciones y fotografías de los productos a suministrar, cuya autenticidad pueda certificarse a petición de la entidad del sector público contratante.
- Certificados expedidos por los institutos o servicios oficiales encargados del control de calidad, de competencia reconocida, que acrediten la conformidad de productos perfectamente detallada mediante referencias a determinadas.

4.3 Árbitros

En caso de necesitar algún tipo de árbitro, este se llevará a cabo por la jurisprudencia municipal o comarcal en la que se sitúe la empresa constructora, sometiéndose a las leyes y normas del citado municipio o comarca.

5. CONDICIONES ECONÓMICAS

La finalidad es regular las relaciones económicas entre el contratista, los proveedores, los subcontratados y los clientes.

Todos los que intervienen en el proceso de construcción y proyección tienen derecho a percibir puntualmente las cantidades devengadas por su correcta actuación, con arreglo a las condiciones contractualmente establecidas.

El constructor y, en su caso, los técnicos pueden exigirse recíprocamente las garantías adecuadas al cumplimiento puntual de sus obligaciones de pago.

5.1 Precios y revisión de precios

5.1.1 Composición de los precios unitarios

El cálculo de los precios de las distintas partes es el resultado de sumar los costes directos, los indirectos, los gastos generales y el beneficio industrial.

5.1.1.1 Costes directos

La mano de obra, con sus pluses, cargas y seguros sociales, que interviene directamente en el proceso de fabricación.

Los materiales, a los precios resultantes, que queden integrados en el proceso de que se trate o que sean necesarios para su ejecución.

Los equipos y sistemas técnicos de seguridad y salud para la prevención y protección de accidentes y enfermedades profesionales.

Los gastos de personal, combustible, energía, etc., que tengan lugar por el accionamiento o funcionamiento de la maquinaria e instalaciones utilizadas en la ejecución de la unidad de obra.

Los gastos de amortización y conservación de la maquinaria, instalaciones, sistemas y equipos anteriormente citados.

5.1.1.2 Costes indirectos

Los gastos de almacenes, talleres de fabricación y preparación de moldes, laboratorios, seguros, etc., los del personal técnico, proyectistas y los imprevistos. Todos estos gastos, se cifrarán en un porcentaje de los costes directos.

5.1.1.3 Precio de ejecución material

Se denominará precio de ejecución material al resultado obtenido por la suma de los anteriores conceptos.

5.1.1.4 Precios contradictorios

Se producirán precios contradictorios sólo cuando por medio del ingeniero se decida introducir cambios de calidad en alguna de las previstas, o cuando sea necesario afrontar alguna circunstancia imprevista.

El constructor estará obligado a efectuar los cambios y hacerse cargo de ellos. A falta de acuerdo, el precio se resolverá contradictoriamente entre el ingeniero y el constructor antes de comenzar la ejecución de los trabajos y en el plazo que determine el pliego de condiciones particulares. Si subsiste la diferencia se acudirá, en primer lugar, al concepto más análogo dentro del

cuadro de precios del proyecto, y en segundo lugar al banco de precios de uso más frecuente en la localidad.

Los contradictorios que hubiere se referirán siempre a los precios unitarios de la fecha del contrato.

5.2 Métodos de pago

5.2.1 Valoración y abono de los trabajos

Los proveedores y las empresas encargadas del transporte recibirán por adelantado el 20% del abono total, el cual estará concertado previamente en el pliego de condiciones o acordado entre proveedor y constructor. El valor del abono sólo se podrá ver modificado por penalizaciones causadas por incumplimientos en el plazo de entrega o por deficiencia de calidad del servicio otorgado.

Los empleados encargados del montaje, empaquetado y administración del producto recibirán la cifra estipulada mediante pago por vía bancaria y en un solo cobro realizado la última semana de cada mes.

5.2.2 Abono de los trabajos especiales no contratados

Cuando fuese preciso efectuar otra clase de trabajos de cualquier índole especial u ordinaria, que por no estar contratados no sean de cuenta del constructor, y si no se contratasen con tercera persona, no tendrá el constructor la obligación de realizarlos y de satisfacer los gastos que estos ocasionen. En el caso que se haga cargo de estos gastos adicionales se le deberán ser restituidos en un plazo de 3 meses desde el momento que se produzca dicho pago.

5.2.3 Pago de árbitros

El pago de impuestos y arbitrios en general, municipales o de otro origen correrán a cargo del constructor, siempre que en las condiciones particulares del proyecto no se estipule lo contrario.

5.3 Garantías, fianzas y avales

El constructor garantizará la instalación durante un período mínimo de 3 años, para todos los materiales utilizados y el procedimiento empleado en su montaje. Sin perjuicio de cualquier posible reclamación a terceros, la instalación será reparada de acuerdo con estas condiciones generales si ha sufrido una avería a causa de un defecto de montaje o de cualquiera de los componentes, siempre que haya sido manipulada correctamente de acuerdo con lo establecido en el procedimiento establecido.

La garantía se concede a favor del comprador de la instalación, lo que deberá justificarse debidamente mediante el correspondiente certificado de garantía, con la fecha que se acredite en la certificación de la instalación.

Si hubiera de interrumpirse la explotación del suministro debido a razones de las que es responsable el constructor, o a reparaciones que el constructor haya de realizar para cumplir las estipulaciones de la garantía, el plazo se prolongará por la duración total de dichas interrupciones.

La garantía comprende la reparación o reposición, en su caso, de los componentes y las piezas que pudieran resultar defectuosas, así como la mano

de obra empleada en la reparación o reposición durante el plazo de vigencia de la garantía.

Quedan expresamente incluidos todos los demás gastos, tales como tiempos de desplazamiento, medios de transporte, amortización de vehículos y herramientas, disponibilidad de otros medios y eventuales portes de recogida y devolución de los equipos para su reparación en los talleres del fabricante.

Asimismo, se deben incluir la mano de obra y materiales necesarios para efectuar los ajustes y eventuales reglajes del funcionamiento de la instalación. Si en un plazo razonable, el constructor incumple las obligaciones derivadas de la garantía, el comprador de la instalación podrá, previa notificación escrita, fijar una fecha final para que dicho constructor cumpla con las mismas. Si el constructor no cumple con sus obligaciones en dicho plazo último, el comprador de la instalación podrá, por cuenta y riesgo del constructor, realizar por sí mismo o contratar a un tercero para realizar las oportunas reparaciones, sin perjuicio de la ejecución del aval prestado y de la reclamación por daños y perjuicios en que hubiere incurrido el constructor.

La garantía podrá anularse cuando la instalación haya sido reparada, modificada o desmontada, aunque sólo sea en parte, por personas ajenas al constructor o a los servicios de asistencia técnica de los fabricantes no autorizados expresamente por el constructor.

Cuando el usuario detecte un defecto de funcionamiento en la instalación, lo comunicará fehacientemente al constructor. Cuando el constructor considere que es un defecto de fabricación de algún componente lo comunicará fehacientemente al fabricante.

5.4 Penalizaciones

5.4.1 Penalizaciones por baja calidad

Si se advirtiese que los materiales, servicios o productos adquiridos no cumplen con los requisitos de calidad estipulados el constructor queda exento del pago de la actividad realizada o de los elementos obtenidos. En el caso concreto de adquisición de piezas, si se detecta más de un 2% de piezas defectuosas el proveedor será sancionado con una multa de 10.000 euros, que serán abonados en un plazo máximo de 6 meses.

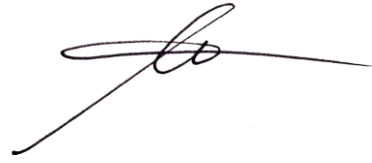
5.4.2 Desperfectos en la propiedad

Si el constructor causara algún desperfecto en la propiedad, tendrá que restaurarla a su cuenta, dejándola en el estado que las encontró al dar comienzo las obras de la instalación.

5.4.3 Replanteos

Todas las operaciones y medios auxiliares que se necesite para los replanteos serán de cuenta del contratista, no teniendo por este concepto derecho a indemnización de ninguna clase. El contratista será responsable de los errores que resulten de los replanteos con relación a los planos acotados que el director de la obra facilite a su debido tiempo.

En Ferrol, a diciembre de 2018.

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized 'B' followed by a horizontal line and a small loop.

Fdo.: Begoña Espiñeira Sicre



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO
CURSO 2018/19**

*DISEÑO INGENIERIL Y MECÁNICA DE
RECUPERADORES DE CALOR EN MOTOR
DIÉSEL PARA PLANTA DE COGENERACIÓN*

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

DOCUMENTO IV: PRESUPUESTO

Índice

1. Intercambiador aceite-agua	4
2. Intercambiador agua-agua	5
3. Seguridad y salud	6
4. Mano de obra	7
5. Resumen por capítulos e importe de ejecución material	8
6. Importe de ejecución e importe de contrata	9

1. INTERCAMBIADOR ACEITE-AGUA

Capítulo 1: Coste de materiales del intercambiador aceite-agua
--

Número	Concepto	Unidades	Precio unitario (€)	Importe (€)
1	Tubos lisos acero inoxidable UNS S31600	360,83	10,67	3.850,06 €
2	Barras de soporte de acero inoxidable UNS S31600	24,6	10,67	262,48 €
3	Brida Welding Neck DN 600 Class 150 lbs acero inoxidable UNS S31600	87	9,265	806,06 €
4	Brida Welding Neck DN100 Class 150 lbs acero inoxidable UNS S31600	76	7,32	556,32 €
5	Brida Ciega Welding Neck Class 150 lbs acero inoxidable UNS S31600	152	9,265	1.408,28 €
6	Cabezal frontal de acero inoxidable UNS S31600	168	9,68	1.626,24 €
7	Cabezal posterior de acero inoxidable UNS S31600	172	9,68	1.664,96 €
8	Carcasa de acero inoxidable UNS S31600	565,12	9,68	5.470,38 €
9	Placa de tubos frontal acero inoxidable UNS S31600	85	8,47	719,95 €
10	Placa de tubos posterior acero inoxidable UNS S31600	82	8,47	694,54 €
11	Bafle acero inoxidable UNS S31600	150	8,47	1.270,50 €
12	Pernos acero inoxidable	112	2,95	330,40 €
13	Juntas DURLON	15	6,48	97,20 €
Importe total capítulo 1				18.757,36 €

2. INTERCAMBIADOR AGUA-AGUA

Capítulo 2: Coste de materiales del intercambiador agua-agua
--

Número	Concepto	Unidades (kg)	Precio unitario (€)	Importe (€)
1	Tubos lisos acero inoxidable UNS S31600	93,57	10,67	998,39 €
2	Barras de soporte de acero inoxidable UNS S31600	24,6	10,67	262,48 €
3	Brida Welding Neck DN 400 Class 150 lbs acero inoxidable UNS S31600	67	9,265	620,76 €
4	Brida Welding Neck DN100 Class 150 lbs acero inoxidable UNS S31600	36	8,32	299,52 €
5	Brida Ciega Welding Neck Class 150 lbs acero inoxidable UNS S31600	89	9,265	824,59 €
6	Cabezal frontal de acero inoxidable UNS S31600	55	9,68	532,40 €
7	Cabezal posterior de acero inoxidable UNS S31600	61	9,68	590,48 €
8	Carcasa de acero inoxidable UNS S31600	201,60	9,68	1.951,49 €
9	Placa de tubos frontal acero inoxidable UNS S31600	55	8,47	465,85 €
10	Placa de tubos posterior acero inoxidable UNS S31600	52	8,47	440,44 €
11	Baffle acero inoxidable UNS S31600	176	8,47	1.490,72 €
12	Pernos acero inoxidable	96	2,95	283,20 €
13	Juntas DURLON	9	6,48	58,32 €
Importe total capítulo 2				8.818,63 €

3. SEGURIDAD Y SALUD

Capítulo 3: Seguridad y salud

Número	Concepto	Unidades	Precio unitario (€)	Importe (€)
1	Medidas para seguridad y salud en la ejecución de las obras	1	2.438,00 €	2.438,00 €
Importe total capítulo 3				2.438,00 €

4. MANO DE OBRA

Capítulo 4: Mano de obra

Número	Concepto	Unidades (h)	Precio unitario (€)	Importe (€)
1	Mano de obra	800	25	20.000,00 €
Importe total capítulo 4				20.000,00 €

5. RESUMEN POR CAPÍTULO E IMPORTE DE EJECUCIÓN MATERIAL

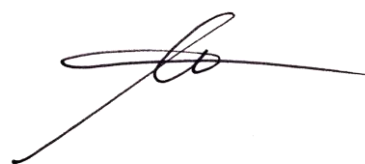
Resumen por capítulos	
Capítulo 1: Coste de materiales del intercambiador aceite-agua	18.757,36 €
Capítulo 2: Coste de materiales del intercambiador agua-agua	8.818,63 €
Capítulo 3: Seguridad y Salud	2.438,00 €
Capítulo 4: Mano de obra	20.000,00 €
IMPORTE DE EJECUCIÓN MATERIAL	50.013,99 €

6. IMPORTE DE EJECUCIÓN E IMPORTE DE CONTRATA

IMPORTE DE EJECUCIÓN MATERIAL	50.013,99 €
Gastos generales (13%)	6.501,82 €
Beneficio industrial (6%)	3.901,09 €
IMPORTE DE EJECUCIÓN	60.416,91 €
IVA (21%)	12.687,55 €
IMPORTE DE CONTRATA	73.104,46 €

El importe de contrata es de **SETENTA Y TRES MIL CIENTO CUATRO EUROS CON CUARENTA Y SEIS CÉNTIMOS.**

En Ferrol, a diciembre de 2018.



Fdo.: Begoña Espiñeira Sicre